VISIT…

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ СССР

ДЛЯ СЛУЖЕБНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Экз. №

ОСНОВЫ ДОЗИМЕТРИИ И ВОЙСКОВЫЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Ордена Трудового Красного Знамени
ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА—1970

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ СССР

ДЛЯ СЛУЖЕБНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Экз. №

ОСНОВЫ ДОЗИМЕТРИИ И ВОЙСКОВЫЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Ордена Трудового Красного Знамени
ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА—1970

Настоящий Учебник предназначен для курсантов военно-химических и других военных училищ при изучении ими курса дозиметрии и войсковых дозиметрических приборов. Он может служить пособием для преподавателей военных кафедр гражданских вузов и курсов по подготовке мастеров и техников-дозиметристов в войсках, а также при самостоятельной учебе офицеров. Учебник рассчитан на лиц, знающих физику в объеме средней школы и знакомых с физическими основами ядерного оружия.

Учебник разработан и написан коллективом авторов в составе: инженер-полковника **Меркина С. А.** (введение, гл. II—V, VII, IX и XI раздела четвертого и разделы шестой и седьмой), инженер-полковника **Вайнштейна Н. Б.** (гл. I, VI, VIII и X раздела четвертого и раздел пятый), инженер-подполковника **Плоткина А. А.** (разделы первый и третий) и инженер-подполковника **Рожкова Г. А.** (раздел второй). Общая редакция — инженер-полковника **Меркина С. А.**

В книге пронумеровано всего 356 страниц.

ВВЕДЕНИЕ

Успехи науки и техники в последние десятилетия привели к широкому использованию ядерной энергии во многих сферах человеческой деятельности, в том числе и в военном деле. На вооружении ряда армий имеется ядерное оружие, поражающее действие которого обусловлено энергией, освобождающейся при ядерном взрыве.

Наряду с ударной волной и световым излучением к поражающим факторам ядерного оружия относятся ионизирующие излучения. Эти излучения, испускаемые радиоактивными веществами, образованными в результате ядерного взрыва, не имеют цвета, вкуса и запаха; их нельзя обнаружить органами чувств. Действуя на организм, ионизирующие излучения могут вызвать очень тяжелое заболевание — лучевую болезнь.

Изучение свойств ионизирующих излучений, методов и средств индикации их, а также оценка действия излучений на живые организмы относятся к науке, получившей название дозиметрия.

Дозиметрия возникла на стыке ядерной физики, химии, электроники и биологии. Она тесно связана с измерительной техникой.

Дозиметрические приборы — относительно сложные устройства, включающие детекторы ионизирующих излучений, электронные и полупроводниковые устройства, резисторы, конденсаторы и другие

детали электрических цепей, а также источники питания. Ионизирующие излучения, проходя через среду, вызывают изменение ее свойств; это в конечном итоге приводит к появлению электрического тока в цепях детекторов излучений, который и регистрируется. Следовательно, чтобы изучать дозиметрическую аппаратуру, необходимо иметь определенные знания в области ядерной физики, основ электротехники, радиотехники и электроники.

В помощь изучающим вопросы дозиметрии и войсковые дозиметрические приборы создан настоящий учебник.

Раздел первый

ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

Глава I

ПРИРОДА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

§ 1. Ионизирующие излучения

Ионизирующими называют всякие излучения, взаимодействие которых с веществом приводит к образованию электрически заряженных частиц.

К ионизирующим относятся квантовые (фотонные) и корпускулярные излучения. Квантовыми являются рентгеновские излучения, гамма-излучения и др.; они представляют собой поток электромагнитной энергии. Корпускулярные излучения состоят из потока частиц вещества: альфа- и бета-частиц, нейтронов и др. К ионизирующим относятся также приходящие на землю из мирового пространства космические излучения.

В последние годы в практической деятельности людей, в частности в военном деле, нашли важное применение ионизирующие излучения, возникающие при радиоактивном распаде. Их источниками являются радиоактивные вещества — ряд естественных и искусственно полученных элементов.

Воздействие ионизирующих излучений на вещество называется облучением.

§ 2. Строение вещества

Большинство имеющихся в окружающем мире различных веществ является сложными веществами, которые образованы сочетанием сравнительно небольшого числа простых веществ или элементов.

Наименьшая частица элемента, обладающая всеми его физическими и химическими свойствами, называется атомом. В настоящее время известно 104 различных элемента, которым соответствуют 104 вида атомов с присущими им специфическими свойствами. Некоторые виды атомов в природе не существуют и были получены искусственным путем.

Наименьшая частица сложного вещества, обладающая всеми его физическими и химическими свойствами, называется молекулой. Молекула образована из различных по свойствам и в разном количестве соединенных атомов.

§ 3. Строение атома

Атом состоит из ядра и расположенной вокруг него электронной оболочки. Он обладает сферической формой (рис. 1) с диаметром, равным приблизительно 10^{-8} *см*. Массы атомов очень малы (порядка 10^{-22}—10^{-24} *г*), поэтому их принято выражать в относительных величинах — атомных единицах массы (а. е. м.). Атомная единица массы равна 1/16 массы атома кислорода* и соответствует $1{,}66 \cdot 10^{-24}$ *г*. Масса атома водорода, например, выраженная в атомных единицах массы, равна 1,008 а. е. м.

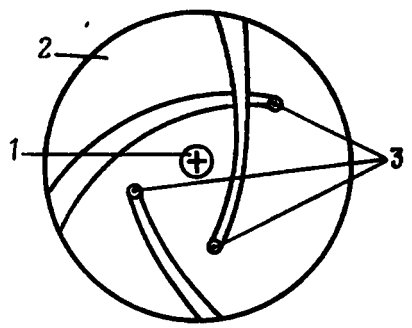


Рис. 1. Строение атома:
1 — ядро; *2* — электронная оболочка; *3* — электроны

Ядро атома обладает чрезвычайно малыми размерами, его диаметр порядка 10^{-13} *см*. Ядро имеет сферическую форму и несет на себе положительный электрический заряд.

Электронная оболочка атома образована вращающимися вокруг ядра электронами. Электроны представляют собой частицы, относящиеся к категории элементарных. Электрон несет на себе самый маленький, существующий в природе и в этом смысле элементарный отрицательный заряд, величина которого $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *к*. Электроны в атомах располагаются на разных расстояниях от ядра по слоям: в ближайшем к ядру слое *K*, в следующем за ним *L*-слое, затем в *M*-слое и т. д. Движение электронов вокруг ядра происходит по замкнутым траекториям — орбитам, на которых они удерживаются силами притяжения, действующими между положительным электрическим зарядом ядра и отрицательным электрическим зарядом электронов.

Атом в целом электрически нейтрален. Это объясняется тем, что в составе его ядра носители положительного электричества обладают наименьшим существующим в природе элементарным зарядом, равным по величине заряду электрона. Количество положительных зарядов внутри ядра атома всегда равно количеству отрицательных зарядов в его электронной оболочке, вследствие чего вне пределов атома действие одних зарядов компенсируется действием других зарядов.

Атом может существовать лишь в определенных энергетических состояниях, при этом электроны атома движутся по орбитам, не те-

---

* В настоящее время вводится в практику определение атомной единицы массы как $^1/_{12}$ массы атома углерода.

ряя энергии. Переход электрона на более близкую к ядру орбиту означает переход атома в новое энергетически более устойчивое состояние и сопровождается испусканием энергии. Наоборот, переход электрона на более далекую от ядра орбиту сопровождается поглощением энергии извне и приводит атом также к новому энергетическому состоянию.

Атом, несущий избыток энергии, с электроном, находящимся на дальних, так называемых возбужденных орбитах, называется возбужденным атомом. Как и для всякой системы, наибольшая энергетическая устойчивость атома соответствует его наименьшей энергии. Состояние с наименьшей энергией называется нормальным, или основным; ему соответствует нахождение электрона на ближайшей к ядру, нормальной, орбите.

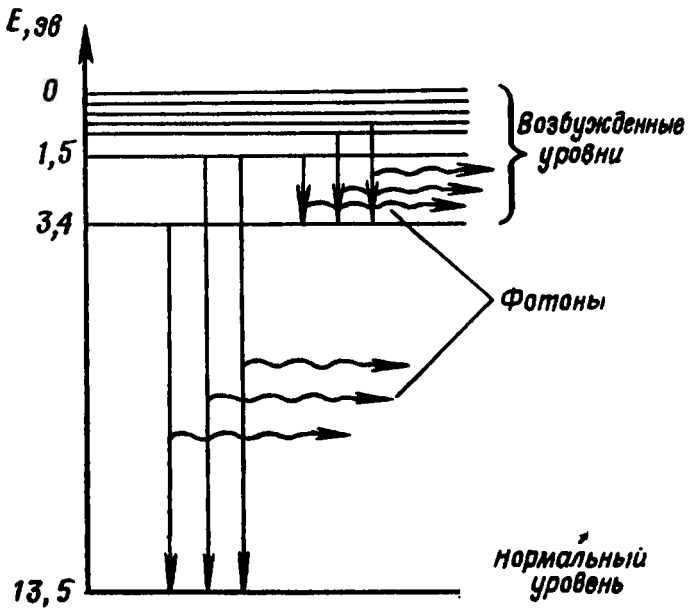


Рис. 2. Диаграмма энергетических уровней атома

Энергетические состояния атома принято изображать диаграммой уровней энергии (рис. 2). Энергия электрона в атоме имеет отрицательное значение, так как для удаления электрона из атома необходимо затратить работу на преодоление сил электрического притяжения между электроном и ядром, т. е. необходимо затратить энергию извне. Следовательно, все энергетические уровни электрона в атоме на диаграмме должны быть размещены ниже нуля. Самый нижний уровень на ней является нормальным. Переход атома из нормального состояния в возбужденное и соответствующий переход электрона с нормального уровня на более высокий уровень сопровождается поглощением строго определенного, а не любого количества энергии, равного разности соответствующих энергетических уровней. Возвращение электрона на нормальный или переход его на более низкий энергетический уровень сопровождается испусканием атомом также строго определенной порции

(кванта) энергии, соответствующей разности между начальным и конечным энергетическими уровнями. Испускаемая атомом энергия выделяется в виде энергии электромагнитных излучений, характеризующихся некоторой частотой колебаний.

Порция (или квант) излученной энергии определяется соотношением:

$$E_1 - E_2 = h\nu, \qquad (1)$$

где E_1 — энергия атома в исходном состоянии (до излучения);
E_2 — конечная энергия атома (после излучения);
h — одна из основных констант современной физики — постоянная Планка ($h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ *дж · сек*);
ν — частота электромагнитных колебаний.

В сложных атомах переход электронов на орбитах, далеких от ядра (на внешних энергетических уровнях), сопровождается испусканием квантов небольших энергий, соответствующих видимому свету; переход электронов на внутренние энергетические уровни (на орбиты, близкие к ядру) приводит к испусканию квантов бóльших энергий, соответствующих рентгеновскому излучению.

Максимальная энергия, которой может обладать электрон в атоме, равна нулю; она соответствует нахождению электрона на бесконечно удаленной от ядра орбите, т. е. отрыву электрона от атома. Лишенный электрона атом будет иметь один нескомпенсированный отрицательным зарядом положительный заряд. Такой атом проявляет себя как положительно заряженная частица. Оторвавшийся от атома электрон существует либо как самостоятельная отрицательная частица, либо соединяется с каким-нибудь атомом, превращая его в отрицательно заряженную частицу. Процесс образования из нейтрального атома двух (или нескольких) заряженных частиц называется ионизацией, а образующиеся при этом положительно и отрицательно заряженные частицы называются положительными и отрицательными ионами. Энергия, необходимая для ионизации атома, называется энергией ионизации E_i. Ионизированный атом является возбужденным с максимальной энергией возбуждения. Когда такой атом вновь притягивает к себе электрон, образуется нейтральный атом. Процесс образования нейтрального атома из двух ионов называется рекомбинацией. Рекомбинация сопровождается перемещением электрона с более высокого энергетического уровня на более низкий, нормальный, и испусканием соответствующего кванта энергии.

§ 4. Строение ядра

Ядро, как и атом в целом, представляет собой сложное образование. Ядро любого атома является совокупностью некоторого числа протонов и нейтронов. В ряду элементарных частиц протоны и нейтроны, называемые нуклонами, образуют особую группу. Для этих частиц характерно то, что они имеют примерно одинако-

вые размеры и массу. Масса протона $m_p = 1836\ m_e$, т. е. в 1836 раз больше массы электрона, а масса нейтрона $m_n = 1839\ m_e$. Кроме того, протон обладает элементарным положительным электрическим зарядом; заряд протона по величине равен заряду электрона, но противоположен ему по качеству. Нейтрон же электрически нейтрален. Зарядом протонов объясняется положительный заряд ядра в целом.

Общее количество нуклонов, образующих ядро, может быть различным и называется массовым числом. Его принято обозначать знаком A. Минимально ядро может иметь один протон. Количеству протонов в ядре атома соответствует равное число электронов в электронной оболочке этого же атома. Числом электронов в атоме определяются его химические свойства, а следовательно и место атома в таблице Менделеева. Поэтому число протонов в ядре (и электронов в оболочке), обозначаемое знаком Z, совпадает с порядковым номером элемента в периодической системе элементов и называется атомным номером. Наименьшее число нейтронов в ядре $N = A - Z$ может быть равным нулю.

Ядра, содержащие одно и то же количество протонов и принадлежащие вследствие этого атомам одного и того же элемента, могут содержать разное количество нейтронов. Такие ядра в таблице Менделеева занимают одно место и поэтому называются изотопами. Ядра различных элементов принято обозначать химическим символом этого элемента с указанием справа вверху массового числа, а слева внизу атомного номера. Например, в общем случае ${}_Z\mathrm{X}^A$.

Между одноименными зарядами протонов действуют силы отталкивания. Вместе с тем между этими частицами так же, как и между нейтронами, и между нейтронами и протонами действуют силы притяжения, не зависящие от заряда частиц. Эти силы, называемые ядерными, действуют в пределах $1{,}4 \cdot 10^{-13}$ *см* и на несколько порядков превышают силы электрического отталкивания между частицами, удерживая их в ядре. Чтобы отделить от ядра хотя бы один нуклон, необходимо затратить некоторую энергию на преодоление этих сил. Величину ядерных сил оценивают по энергии связи между нуклонами в ядре, которая измеряется работой, необходимой для расщепления ядра на составляющие его нуклоны. Энергия связи, приходящаяся на один нуклон, называется удельной. Чем больше удельная энергия связи, тем сильнее взаимодействие между нуклонами, тем прочнее ядро. Наибольшая энергия связи, приходящаяся на один нуклон, порядка 8,75 *Мэв*, присуща элементам средней части таблицы Менделеева.

Все нуклоны, входящие в состав ядра, и ядро в целом обладают некоторой энергией. Ядра атомов могут иметь определенные энергетические состояния. Состояние ядра, обладающего наименьшей энергией и являющегося вследствие этого энергетически наиболее устойчивым, называется основным, или нормальным. Состояние, при котором ядро обладает избытком энергии по отношению к

его основному состоянию, называется возбужденным. Энергетическое состояние ядра принято изображать диаграммой его уровней энергии (рис. 3). Характерным для ядра является то, что различие между энергиями двух ближайших уровней в нем составляет не-

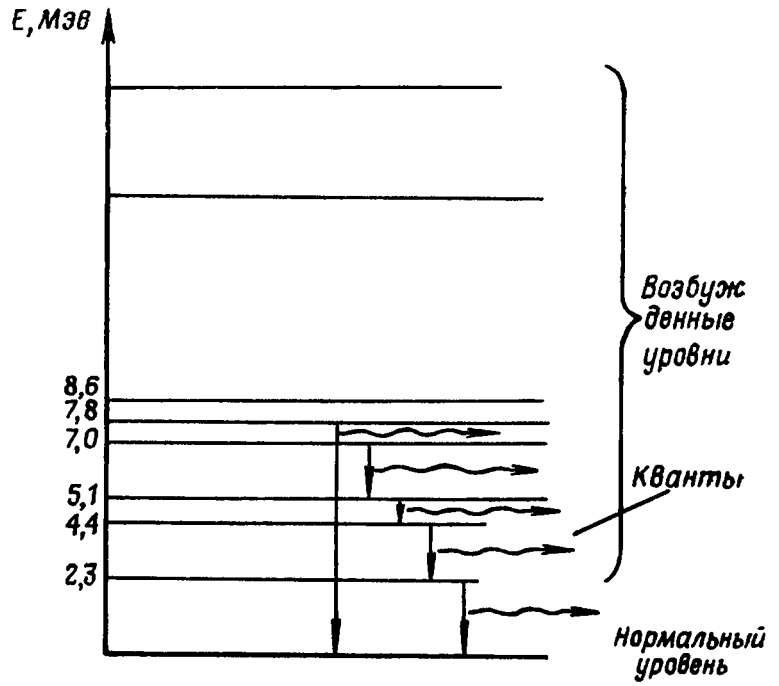


Рис. 3. Диаграмма уровней энергии ядра

сколько миллионов электронвольт, в то время как различие между энергетическими уровнями атома — порядка электронвольт. Электронвольтом называется такое количество энергии, которое приобретает электрон при прохождении разности потенциалов в 1 *в*.

В ядерной физике и технике для измерения энергии используются величины, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Единица измерения	Сокращенное обозначение единиц измерения	Размер в единицах системы СИ
Электронвольт	*эв* (eV)	$1\ эв = 1{,}60207 \cdot 10^{-19}\ дж$
Килоэлектронвольт	*кэв* (keV)	$1\ кэв = 10^3\ эв = 1{,}60207 \times 10^{-16}\ дж$
Мегаэлектронвольт	*Мэв* (MeV)	$1\ Мэв = 10^6\ эв = 1{,}60207 \cdot 10^{-13}\ дж$

Ядро приходит в возбужденное состояние при поглощении дополнительной энергии, сообщенной ему извне. В возбужденном состоянии ядро остается недолго и, возвращаясь в основное состоя-

ние, испускает избыток энергии в виде гамма-кванта, энергия которого равна разности между исходным и основным уровнем энергии ядра.

В некоторых случаях ядра могут оставаться в возбужденном состоянии сравнительно длительное время. Ядра, имеющие одинаковый атомный номер (принадлежащие атомам одного элемента) и одинаковые массовые числа, но разные по величине энергии, называются изомерами.

§ 5. Радиоактивность

Действующие в ядре силы отталкивания значительно увеличиваются с ростом числа протонов в ядре. Вместе с этим в различных ядрах нуклоны обладают неодинаковыми энергиями связи, вследствие этого ядра могут быть неустойчивыми, способными к самопроизвольным превращениям. На неустойчивости ядер в значительной мере сказывается соотношение между числом протонов и нейтронов; наиболее устойчивые ядра имеют отношение $\frac{N}{Z} = 1 \div 1{,}6$. Ядра с избытком или недостатком нейтронов неустойчивы; они претерпевают превращения, в процессе которых либо распадаются на части, либо испускают элементарные частицы, превращаясь в ядра атомов новых элементов без всякого воздействия извне.

Явление самопроизвольного (спонтанного) изменения структуры ядра атома одного элемента и превращение его в более устойчивое ядро атома другого элемента называется радиоактивностью, а само неустойчивое ядро — радиоактивным. Каждый такой отдельный акт самопроизвольного превращения ядер атомов с испусканием элементарных частиц или их групп называется радиоактивным распадом.

Возникающие при самостоятельных превращениях ядер атомов потоки элементарных частиц или их групп являются ионизирующими излучениями.

§ 6. Закон радиоактивного распада

Для определенного радиоактивного вещества вероятность распада каждого ядра одинакова в любой момент времени, так как ядра распадаются независимо друг от друга. Если вероятность распада каждого ядра выразить числом λ, то за единицу времени из N ядер атомов, имеющихся в данном количестве радиоактивного вещества, распадается λN ядер. Поскольку с каждым распадом число остающихся исходных ядер атомов радиоактивного вещества все время уменьшается, то

$$\lambda N = -\frac{dN}{dt}, \qquad (2)$$

где $\frac{dN}{dt}$ — изменение числа исходных ядер во времени (отрицательный знак говорит об их уменьшении).

Преобразование полученного выражения дает:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt;$$

$$\ln N = -\lambda t + C.$$

При $t=0$ $C=\ln N_0$, где N_0 — первоначальное количество ядер. Отсюда:

$$\ln N = -\lambda t + \ln N_0;$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t;$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t};$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}. \qquad (3)$$

Этот закон, выражающий уменьшение количества ядер атомов радиоактивного вещества во времени, называется законом радиоактивного распада и графически изображен на рис. 4.

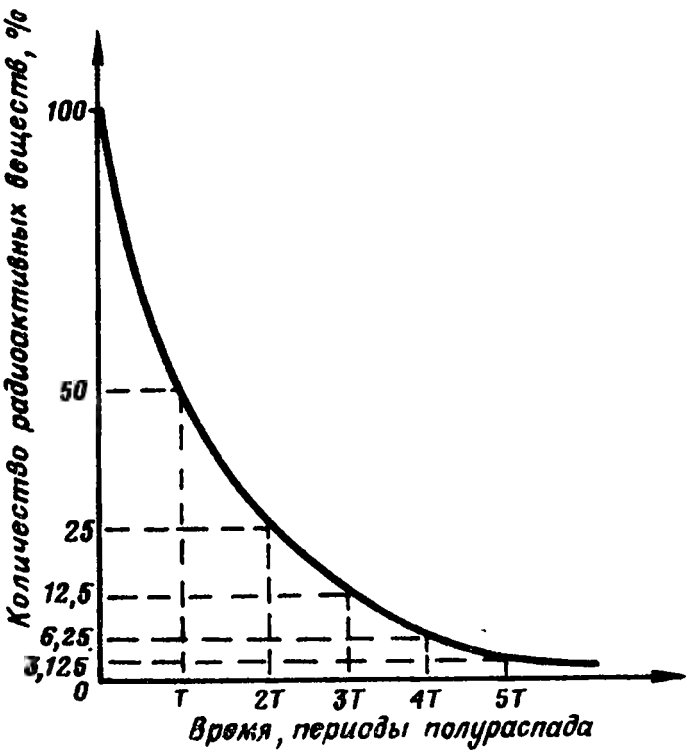


Рис. 4. Кривая распада радиоактивного вещества

Характер радиоактивного распада ядер таков, что время, в течение которого распадается половина первоначально имевшихся ядер радиоактивного вещества, является постоянным и называется периодом полураспада T. При $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2}$

$$T = \frac{\ln \frac{N}{N_0}}{\lambda} = \frac{\ln \frac{1}{2}}{\lambda} = \frac{0{,}693}{\lambda}. \qquad (4)$$

Величина λ называется постоянной распада. Постоянная распада и соответствующий ей период полураспада зависят только от устойчивости ядер и различны для ядер разных радиоактивных элементов.

Превращения ядер могут происходить различными путями.

§ 7. Альфа-излучения

Действие сил отталкивания в тяжелых ядрах с большим числом протонов становится значительным. Это приводит к уменьшению удельной энергии связи и устойчивости ядер и является причиной их естественной радиоактивности. Переход таких ядер в более устойчивое состояние сопровождается испусканием альфа-частиц — образований, состоящих из двух протонов и двух нейтронов. Превращения ядер, сопровождаемые испусканием альфа-частиц, представляют собой альфа-распад.

Альфа-частицы в ядре до момента его превращения как самостоятельные структурные образования отсутствуют, однако вследствие процессов, происходящих в ядре, нуклоны могут образовать альфа-частицу, которая, взаимодействуя с другими нуклонами (и претерпевая многочисленные соударения), приобретает такую энергию, что оказывается в состоянии выйти за пределы ядра.

Поскольку при альфа-распаде альфа-частица уносит с собой два элементарных электрических заряда и массу, равную 4 а. е. м., то согласно закону сохранения массы и заряда остающееся ядро будет иметь соответственно меньший заряд и меньшую массу, т. е. станет ядром нового элемента. Это может быть выражено следующим соотношением:

$$_{Z}X^{A} \rightarrow {}_{Z-2}Y^{A-4} + {}_{2}\alpha^{4},$$

где X и Y — символы исходного и конечного продуктов распада.

Масса альфа-частицы равна 4 а. е. м., а заряд ее равен удвоенному заряду электрона $2e$ (или $m_\alpha = 6{,}64 \cdot 10^{-24}$ *г*, $q_\alpha = 3{,}204 \cdot 10^{-19}$ *к*).

Альфа-частица представляет собой ядро атома гелия внутриядерного происхождения, лишенное электронной оболочки и обладающее значительной энергией и скоростью.

Поток альфа-частиц называют альфа-излучением.

В процессе альфа-распада выделяется энергия в виде кинетической энергии альфа-частицы и подвергшегося превращению ядра. Эта энергия равна энергии связи альфа-частицы с ядром и распределяется между альфа-частицей и ядром-продуктом обратно пропорционально их массам, так что на долю альфа-частицы приходится около 98% выделяющейся энергии. Энергия альфа-частиц, испускаемая ядрами атомов различных элементов, лежит в пределах 2—9 *Мэв*.

Если в процессе распада и исходные и конечные ядра находятся в основных энергетических состояниях, то испускаемые альфа-

частицы имеют строго определенную энергию; если оба ядра или одно из них находится в возбужденном состоянии, то это приводит к появлению альфа-частиц различных энергий. Кроме того, переход образованных в результате альфа-распада возбужденных ядер в основное состояние сопровождается испусканием гамма-излучений.

Скорости альфа-частиц, испускаемых ядрами атомов различных элементов, лежат в интервале от 14 000 до 22 500 *км/сек.*

§ 8. Бета-излучения

Если количество нейтронов и протонов в ядре таково, что $\frac{N}{Z}$ больше величины, соответствующей устойчивому ядру, то для перехода к стабильному ядру необходимо либо уменьшение числа нейтронов, либо увеличение числа протонов. В этом случае один из нейтронов ядра превращается в протон, испуская отрицательно заряженную бета-частицу. Если же $\frac{N}{Z}$ меньше величины, соответствующей стабильному ядру, то переход к последнему должен сопровождаться увеличением числа нейтронов и уменьшением числа протонов, что имеет место при превращении одного из протонов ядра в нейтрон; при этом протон испускает положительно заряженную бета-частицу. Процесс превращения ядер, сопровождающийся испусканием бета-частиц, называется бета-распадом.

Бета-частицы представляют собой электроны и позитроны внутриядерного происхождения. Отрицательные бета-частицы (или электроны) имеют массу, равную $9{,}1 \cdot 10^{-28}$ *г* или 0,0005 а. е. м., и отрицательный заряд, равный $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *к*. Положительные бета-частицы — позитроны — являются античастицами по отношению к электронам и имеют массу и положительный заряд, по величине равные массе и заряду электрона.

Поток бета-частиц называется б е т а - и з л у ч е н и е м.

В результате электронного бета-распада исходное ядро превращается в новое ядро, масса которого остается прежней, а заряд увеличивается на единицу. Позитронный бета-распад приводит к образованию ядра с прежней массой и зарядом, уменьшенным на единицу. Бета-частицы в ядре как самостоятельные частицы не присутствуют и возникают лишь в момент распада ядра.

Образующиеся в результате распада бета-частицы имеют различные энергии — от 0 до некоторого максимального значения $E_{макс}$. Это объясняется тем, что бета-распад сопровождается испусканием еще одной элементарной частицы — нейтрино — с массой, менее 0,0005 массы электрона и не имеющей электрического заряда. Высвобождающаяся при распаде энергия различным образом распределяется между нейтрино и бета-частицей (рис. 5).

Вследствие отсутствия заряда и чрезвычайно малой массы нейтрино могут пройти через большие толщи вещества, не взаимодей-

ствуя с ним. В воздухе происходит одно столкновение нейтрино на пути в сотни тысяч километров.

Процесс бета-распада может быть представлен соотношением:

$$_{Z}X^{A} \rightarrow {}_{Z+1}Y^{A} + {}_{-1}\beta^{0} + {}_{0}\nu^{0}$$

или

$$_{Z}X^{A} \rightarrow {}_{Z-1}Y^{A} + {}_{+1}\beta^{0} + {}_{0}\nu^{0}.$$

К бета-распаду относится еще один вид превращений ядер — электронный захват, при котором ядро притягивает к себе один из

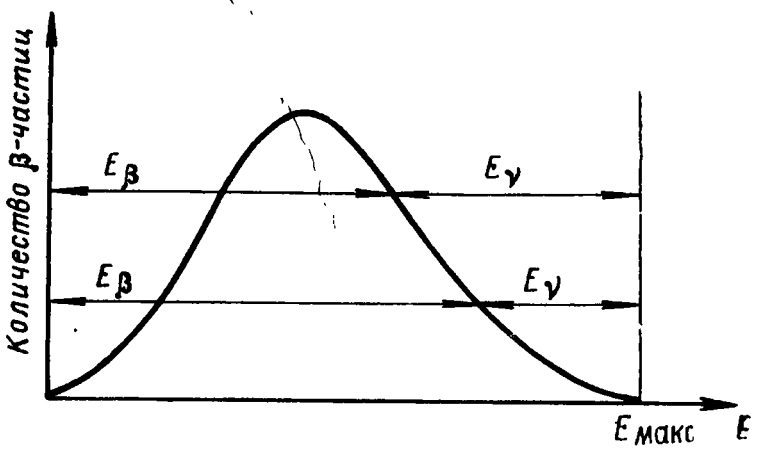


Рис. 5. Энергетический спектр бета-частиц

электронов, расположенных на внутренних орбитах атома, чаще всего с *K*- или *L*-слоя. Место захваченного электрона сразу же заполняется электроном с более высокого уровня, при этом атом испускает рентгеновские излучения. Ядро же такого атома, оставаясь неизменным по массе, превращается в новое ядро с зарядом, меньшим на единицу против исходного ядра.

§ 9. Гамма-излучения

Источником гамма-излучений являются возбужденные ядра, образованные в результате альфа- или бета-распада или других ядерных превращений. Возбужденные ядра в течение 10^{-12} *сек* переходят в основное состояние, испуская избыток энергии в виде гамма-кванта (рис. 6). Иногда ядро последовательно испускает ряд гамма-квантов, переходя каждый раз в менее возбужденное состояние, пока не станет стабильным. Это явление получило название каскадного излучения.

В ряде случаев испускание гамма-квантов возбужденным ядром происходит спустя длительное время после его образования. Такие возбужденные ядра могут существовать несколько суток и даже десятилетия, однако, в конце концов, излучив гамма-квант, переходят в основное состояние. Ядра, пребывающие в возбужденном состоянии более 10^{-9} *сек*, называются метастабильными.

Гамма-кванты не обладают ни зарядом, ни массой покоя. Их испускание не приводит к образованию ядер новых элементов. Возбужденные и стабильные ядра одного элемента отличаются только энергией. Излучение гамма-кванта является процессом, самопроизвольно происходящим в ядрах и характеризующим свойства ядер.

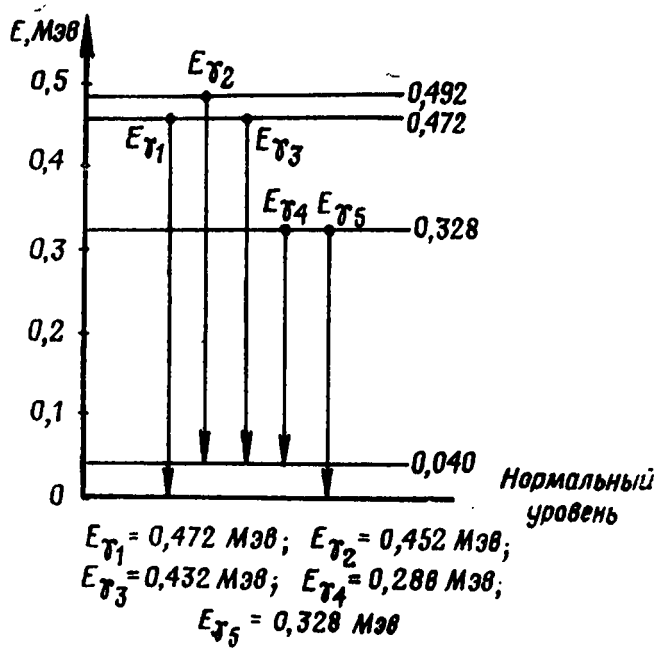


Рис. 6. Схема превращений ядра, сопровождающихся испусканием гамма-квантов

Если значком * обозначить возбужденное состояние ядра, то процесс излучения гамма-кванта может быть записан так:

$$ {}^{*}_{Z}X^{A} \rightarrow {}_{Z}X^{A} + h\nu. $$

Те вещества, для которых гамма-излучение является сопутствующим, характеризуются как периодом полураспада по альфа- или бета-излучению (или другим излучениям), так и отличным от него периодом полураспада по гамма-излучению. Для радиоактивных изомеров характерен только период полураспада по гамма-излучению. Если испускание гамма-кванта происходит практически мгновенно, то понятие периода полураспада в этом случае не применяется.

Поток гамма-квантов называется гамма-излучением.

Испускаемые ядром гамма-кванты характеризуются такой большой энергией, что каждый из них может быть обнаружен и зарегистрирован сам по себе. Гамма-кванты проявляют себя главным образом как частицы.

§ 10. Излучения, испускаемые при делении ядра. Нейтронные излучения

Свободные нейтроны образуются в процессе спонтанного деления ядра, под которым понимается его расщепление, т. е. распад на два осколка, сумма масс которых примерно равна массе исходного ядра. Эти осколки являются изотопами ядер элементов средней части таблицы Менделеева, в то время как процессу деления подвержены ядра элементов, находящихся в конце таблицы Менделеева.

Деление ядер становится возможным благодаря тому, что внутренние колебания частиц в нем могут вызвать такую деформацию ядра, что электростатические силы отталкивания, пропорциональ-

ные квадрату атомного номера элемента Z^2, будут преобладать над силами притяжения. В ряде случаев деление ядра можно вызвать, сообщив ему дополнительную энергию возбуждения извне, воздействуя на него нейтронами, гамма-квантами, протонами, альфа-частицами и т. д. Вызванный таким образом акт деления ядра является вынужденным делением. Время деления ядра составляет около 10^{-12} *сек*.

Образующиеся в процессе деления новые ядра неодинаковы. Обычно одно из них более легкое, другое более тяжелое, причем исходное ядро может делиться на разные осколки. Процент делений, приводящий к образованию осколков определенного изотопа, называется выходом осколков деления. Так как на каждое деление приходится по два осколка, то общий выход деления равен 200%. Выход осколков в зависимости от их массового числа может быть представлен графиком (рис. 7).

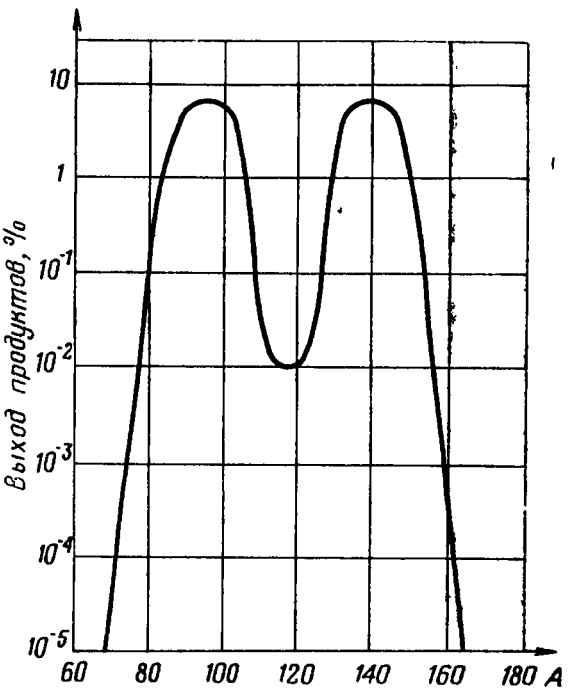


Рис. 7. График выхода продуктов деления урана-235

Из рис. 7 видно, что при делении урана наиболее вероятно образование осколков с A, равным 95 и 139. При делении большого числа ядер урана возникает около 60 различных изотопов.

Процесс деления ядер сопровождается испусканием нескольких гамма-квантов и 2—3 нейтронов и символически может быть записан следующим образом:

$$_{z}X^{A} \rightarrow {}_{z_1}Y_1^{A_1} + {}_{z-z_1}Y_2^{A-A_1-\eta} + \eta_0 n^1,$$

где $\eta = 2 \div 3$.

Несмотря на то что при делении высвобождается 2—3 свободных нейтрона, осколки деления содержат значительно больше нейтронов, чем устойчивые ядра, обладающие таким же зарядом. От этого избытка нейтронов осколки освобождаются путем многократного последовательного электронного бета-распада. Осколки деления радиоактивны.

Возникающие в процессе деления ядер нейтроны имеют энергию около 2 *Мэв*.

Поток нейтронов представляет собой нейтронное излучение. Однако нейтронное излучение образовано не только сопутствующими непосредственно делению ядра нейтронами. Около 1% нейтронов испускается возбужденными осколками деления исход-

ного ядра. При этом изменяется энергетическое состояние ядра-осколка и оно переходит из одного изотопического состояния в другое:

$$_{Z}X^{A} \rightarrow {}_{Z}X^{A-1} + {}_{0}n^{1}.$$

Такие превращения происходят после завершения процесса деления ядра за время от долей до десятков секунд. Нейтроны, испускаемые спустя период времени порядка секунды после акта деления, называются запаздывающими. Энергия запаздывающих нейтронов — около 0,5 *Мэв*.

Образующиеся при делении осколки с большой энергией имеют скорости около 10^9 *см/сек*. Электронная оболочка исходного атома распределяется между ядрами-осколками. Однако при весьма больших скоростях движения часть электронов будет отрываться от осколков, у которых остающийся эффективный заряд составляет 20—22 *е*. Таким образом, осколки наряду с большой энергией обладают большим электрическим зарядом и, как следствие, значительной ионизирующей способностью.

§ 11. Свойства продуктов деления ядра

Прежде чем радиоактивный осколок делящегося ядра превратится в стабильное ядро, он испытывает в среднем 3—4 бета-превращения. Каждое такое превращение характеризуется определенным, присущим ему периодом полураспада, а все вместе они образуют радиоактивную цепочку. Скорость распада ядер в начале цепочки больше, чем в ее конце.

Поскольку деление ядра сопровождается образованием до 60 различных осколков, то при делении большого количества ядер продукты распада представляют собой смесь около 200 видов изотопов с соответствующим им разнообразием радиоактивных превращений. Наибольшее значение среди них имеют осколки, которые отличаются большим периодом полураспада (от нескольких суток и больше) и высоким выходом; к ним относятся около 20 изотопов, в частности стронций-90 с выходом деления 5% и T — 28 лет и цезий-137 с выходом деления 6% и T — 33 года.

Характер распада всей этой смеси радиоактивных веществ определяется суммой кривых распада каждого изотопа в отдельности с учетом количественного их соотношения в смеси.

§ 12. Источники ионизирующих излучений

Источником ионизирующих излучений являются распадающиеся ядра атомов радиоактивных веществ.

В настоящее время для 104 элементов известно более 1500 изотопов. Часть из них имеется в природе, другие получены искусственным путем. Более 10% изотопов подвержены альфа-распаду, это элементы конца таблицы Менделеева с $Z > 82$ и 16 природных и искусственных изотопов лантаноидов. 46% изотопов характеризуется

электронным бета-распадом, 11% — позитронным бета-распадом и 25% (главным образом элементы второй половины таблицы Менделеева с большим Z) — электронным орбитальным захватом. Спонтанное деление ядер имеет место у 26 изотопов, в том числе у семи естественных изотопов — Th^{230}, Th^{232}, U^{234}, U^{235}, U^{238}, Np^{237}, Pu^{239}. Из всего количества изотопов лишь около 300 стабильны и около 90 являются естественными радиоактивными веществами.

Помимо этого насчитывается более 250 изомеров, которые являются источниками гамма-излучения.

Ионизирующие излучения очень скоро после открытия явления радиоактивности стали использоваться в практических целях, главным образом наукой и медициной. В качестве источников излучений применялись радий, радон, полоний.

Достижения и дальнейшие потребности развития производства, науки и техники позволили расширить область применения ионизирующих излучений и получить для этих целей более дешевые и интенсивные разнообразные искусственные источники. Искусственные источники получаются путем облучения нейтронами нерадиоактивных веществ в ядерных реакторах, поэтому перед изготовлением искусственного источника ионизирующих излучений ему нетрудно придать необходимую форму и размеры.

Среди источников ионизирующих излучений наибольшее применение в количественном отношении приходится на кобальт-60, который используется и в войсковых условиях для проверки и градуировки дозиметрической аппаратуры. Кобальт-60 обладает периодом полураспада 5,3 года и является источником бета-излучений с энергией частиц 0,31 *Мэв* и гамма-излучений с энергией квантов 1,17 и 1,33 *Мэв*. В практическом использовании кобальта-60 основную роль играют гамма-излучения.

§ 13. Ядерный взрыв и радиоактивное заражение как источники ионизирующих излучений

Мощным источником ионизирующих излучений является ядерный взрыв.

Энергетическое состояние элементов средней части таблицы Менделеева, обладающих большой удельной энергией связи, более устойчиво, чем элементов, находящихся в начале или в конце ее. Поэтому деление ядер тяжелых элементов, при котором образуются ядра элементов средней части таблицы Менделеева, сопровождается выделением большого количества энергии. Практически получение этой энергии осуществляется путем вынужденного деления в ходе цепной реакции урана (U^{235}, U^{233}) и плутония (Pu^{239}).

Еще большее количество энергии получается при образовании (синтезе) ядер элементов средней части таблицы Менделеева из ядер элементов, находящихся в ее начале. В частности, это имеет место при синтезе ядер гелия из тяжелого водорода — дейтерия (D^2) и сверхтяжелого водорода — трития (T^3). Для этих же целей

может быть использован и литий (Li^6). Каждый акт синтеза двух исходных ядер в ядро гелия сопровождается испусканием нейтрона:

$$_1D^2 + _1T^3 \rightarrow _2He^4 + _0n^1.$$

На использовании большого количества энергии, выделяющегося при делении и синтезе ядер вещества, основано действие ядерного оружия.

При взрыве ядерного боеприпаса в течение микросекунд и долей микросекунд освобождается энергия, эквивалентная взрыву тринитротолуола в количестве от 50—200 *т* до нескольких десятков (20—40 и более) миллионов тонн. Эта энергия является источником мощной ударной волны и колоссального потока световой энергии.

Кроме того, для ядерного взрыва характерно специфическое, присущее только ему образование весьма интенсивного потока ионизирующих излучений. Ионизирующие излучения испускаются радиоактивным веществом заряда и возникают непосредственно в процессе деления и синтеза веществ, составляющих заряд боеприпаса. Образующиеся при этом продукты деления представляют собой радиоактивные осколки ядер, которые тоже являются источником ионизирующих излучений.

Другим источником ионизирующих излучений, возникающим при ядерном взрыве, являются радиоактивные вещества, образующиеся при взрыве и заражающие местность и все находящиеся на ней объекты.

Испускаемые в процессе реакции деления или синтеза мощные потоки нейтронов, распространяясь в пространстве, могут достигнуть поверхности грунта и находящихся на ней предметов. Взаимодействуя с ядрами атомов веществ, входящих в состав грунта и предметов, нейтроны замедляются и при энергиях порядка 0,2 *эв* поглощаются ими. При этом образуются ядра-изотопы, подверженные радиоактивному распаду. Существенное значение в образовании такой наведенной на местности и находящихся на ней предметах активности имеет захват нейтронов ядрами, которые в наибольшей степени распространены в них и обладают большой способностью к захвату и большой постоянной времени распада. Радиоактивное заражение, обусловленное воздействием нейтронов, носит объемный характер, так как нейтроны, проникая в глубину, захватываются ядрами атомов в толщах до 30 *см*. Захват нейтронов может сопровождаться испусканием протонов, альфа-частиц, двух нейтронов, а также гамма-квантов короткопериодными изомерами.

Наведенное нейтронами радиоактивное заражение местности создается в районе, непосредственно примыкающем к месту взрыва. На значительно больших расстояниях от места взрыва создается радиоактивное заражение осколками ядер делящегося вещества и частью заряда, не претерпевшей деления.

Осколки деления и неразделившаяся часть заряда существуют в виде свободных радиоактивных атомов, которые поглощаются ча-

стицами пыли различных размеров, поднимаемыми с поверхности земли и образующимися из материала боеприпаса. При надводном взрыве создается много микроскопических водяных капель, поглощающих радиоактивные осколки. Эти частицы имеют размеры от 1 до 100 микрометров *. При взрыве вместе с раскаленными массами воздуха они поднимаются вверх, разносятся ветром в горизонтальном и вертикальном направлениях и выпадают на землю. Наиболее крупные частицы размером в сотни микрометров в течение нескольких часов оседают непосредственно в районе взрыва. Частицы размером до 20 *мкм* оседают на расстоянии до 1000 *км*, образуя радиоактивный след шириной до десятков и сотен километров. Более мелкие частицы выпадают на землю в течение недель и месяцев. Часть радиоактивной пыли попадает в стратосферу и с годами оседает по всему земному шару.

В значительной мере оседанию радиоактивной пыли на поверхности земли способствуют осадки.

Степень радиоактивного заражения зависит также от вида взрыва, мощности боеприпаса и рельефа местности. При наземных и подземных взрывах, когда продукты взрыва непосредственно соприкасаются с поверхностью земли и большие массы грунтовой пыли втягиваются в радиоактивное облако, радиоактивное заражение местности особенно сильно.

§ 14. Нейтронное излучение ядерного взрыва

Часть возникших при взрыве нейтронов захватывается ядрами атомов делящихся веществ, поддерживая цепную реакцию, а часть поглощается в оболочке боеприпаса. Это сказывается как на количестве выходящих из боеприпаса нейтронов, так и на их энергии.

Если в реакции деления участвовало N ядер и при каждом акте деления возникало 2—3 нейтрона, то общее количество образованных свободных нейтронов будет равно $(2 \div 3)\ N$—N и для плутониевой бомбы составляет примерно $3 \cdot 10^{23}$. Общее число вышедших в воздух нейтронов не превышает 7,5—29% нейтронов деления. Энергия этих нейтронов охватывает спектр от 10 *кэв* до 10 *Мэв*; наиболее вероятная энергия нейтронов — 0,8 *Мэв*, а средняя — 2 *Мэв*.

Поскольку каждый акт синтеза ядер сопровождается выделением одного нейтрона и при этом высвобождается примерно в 10 раз меньше энергии, чем при акте деления, то на единицу выделившейся энергии при синтезе приходится больше нейтронов, чем при делении. Это значит, что взрыв боеприпасов одной и той же мощности сопровождается испусканием большего количества нейтронов при реакции синтеза. Кроме того, энергия нейтронов, возникших при синтезе ядер, порядка 14 *Мэв*; этим обусловлен больший радиус распространения нейтронов при взрыве, основанном на синтезе ядер.

---

* 1 микрометр (*мкм*) $= 10^{-6}$ *м* (1 микрон).

§ 15. Гамма-излучение ядерного взрыва

Гамма-излучение ядерного взрыва образуется непосредственно в процессе деления ядер U^{235} и Pu^{239}. Его источником являются также осколки, испускающие гамма-квант при переходе из возбужденного состояния в основное сразу же после акта деления — в течение 10^{-11}—10^{-8} *сек*; это излучение в основном поглощается в самом боеприпасе. Кроме того, при делении возникает около 200 радиоактивных изотопов с периодом полураспада от долей секунды до десятков лет, бета-превращение которых в большинстве случаев сопровождается испусканием гамма-излучений с энергией квантов от 0,002 *Мэв* (Tc^{99}) до 2,9 *Мэв* (Rb^{88}). Средняя энергия гамма-кванта порядка 1 *Мэв*. Гамма-излучение осколков продолжается длительное время, но его интенсивность со временем уменьшается.

Нейтроны могут быть захвачены ядрами атомов веществ, из которых состоит боеприпас, и азотом окружающего его воздуха, образуя радиоактивные вещества, являющиеся источником гамма-излучения.

Захватом нейтронов в грунте и находящимися на местности предметами также создаются гамма-активные вещества. Элементы, которые образуют при таком захвате долгоживущие изотопы, очень мало распространены в природе. Поэтому наибольшую роль в создании гамма-излучений наведенной радиоактивности в первые минуты после взрыва имеет алюминий-28 ($T_{1/2}$ =2,3 *мин*), в первые часы — марганец-56 ($T_{1/2}$ =2,6 *ч*) и натрий-24 ($T_{1/2}$ =15 *ч*), а спустя 200—300 *ч* — железо-59 ($T_{1/2}$ =47 дней). Средняя энергия квантов этого гамма-излучения 6 *Мэв*.

Таким образом, в процессе гамма-излучения взрыва можно различить следующие периоды:

— мгновенное излучение, действующее от 0 до 10^{-5} *сек*, которое образовано гамма-излучением осколков и гамма-излучением, возникающим при рассеянии и захвате нейтронов в материале ядерного боеприпаса;

— короткопериодное излучение, действующее от 10^{-5} до $3 \cdot 10^{-1}$ *сек*; это излучение возникает при захвате нейтронов азотом воздуха и испускается после разлета вещества боеприпаса;

— секундное излучение, которое испускается в период от $3 \cdot 10^{-1}$ до 15 *сек* продуктами деления;

— остаточное излучение — испускается в период времени от 15 *сек* до бесконечности долгопериодными осколками и ядрами атомов вещества грунта и окружающих объектов, приобретших радиоактивность в результате захвата нейтронов.

В районе взрыва основная доля гамма-излучения падает на секундное и частично на короткопериодное излучение, так как мгновенное излучение, хотя и интенсивно, но очень кратковременно, а остаточное мало интенсивно. Две трети общей энергии гамма-излучения испускается за первые 10 *сек*, остальное — за время от 10 *сек* до бесконечности.

Образующиеся при взрыве нейтронное излучение и гамма-излучение составляют проникающую радиацию. Сопровождающие ее альфа- и бета-излучения поглощаются воздухом на расстоянии нескольких метров. Альфа- и бета-излучения осколков приобретают серьезное значение в том случае, когда имеет место непосредственный контакт с источниками ионизирующих излучений.

Глава II

СВОЙСТВА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

§ 1. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом

Кванты и частицы, распространяясь в различных средах, могут сталкиваться с атомами и молекулами вещества и передавать последним всю или часть своей энергии, изменять направление движения и вызывать ряд других эффектов. Происходит поглощение и рассеяние энергии излучений. Поглощением энергии излучений называется ее преобразование во взаимодействующей среде в другие виды энергии или в энергию других видов излучений. Рассеянием излучений называют изменение направления первоначального распространения ионизирующего излучения (рассеяние может сопровождаться и изменением энергии частиц и квантов).

Атомы и молекулы, получая в процессе столкновения с частицами и квантами избыточную энергию, переходят в возбужденное состояние. У таких атомов и молекул поглощенная ими избыточная энергия может быть израсходована на диссоциацию (распад) молекул или ионизацию атомов и молекул.

На каждый акт ионизации квант или частица расходуют некоторую долю своей энергии. Средняя энергия, затрачиваемая на образование одной пары ионов в веществе, называется средней энергией ионообразования. Энергия, теряемая частицей на единице пути в веществе, называется линейной потерей энергии.

Число пар ионов, образуемое в среде квантом или частицей на единице своего пути, называется линейной плотностью ионизации. Линейная плотность ионизации характеризует собой ионизирующую способность излучений.

Теряя часть своей энергии при каждом акте взаимодействия, частица затормаживается, скорость ее распространения уменьшается до тех пор, пока не сравняется со скоростями теплового движения частиц вещества. При этом дальнейшее движение частицы и

существование ее как ионизирующей частицы прекращается. Расстояние, пройденное частицей в веществе от места проникновения в него до места полной остановки, называется длиной пробега. Длина пробега частицы характеризует проникающую способность ионизирующих излучений в данном веществе.

Длина пробега частицы зависит от плотности вещества, так как с изменением плотности вещества изменяется и вероятность взаимодействия ионизирующей частицы с частицами, образующими вещество, на каждой единице пути. Поэтому в ряде случаев пробег ионизирующих частиц в веществе определяют как произведение длины пробега (в *см*) на плотность вещества (в $г/см^3$), т. е. массой вещества, приходящейся на квадратный сантиметр его поверхности ($г/см^2$).

Механизм взаимодействия ионизирующих излучений с веществом и последствия, к которым оно приводит, зависят от рода и свойств образующих излучения частиц и взаимодействующих с ними веществ. Законы взаимодействия ионизирующих излучений с веществом являются физической основой дозиметрии.

§ 2. Взаимодействие альфа-излучений с веществом

Взаимодействие альфа-частицы с веществом проявляется во взаимном отталкивании с положительно заряженными ядрами и притяжении с отрицательно заряженными электронами атомов. Взаимодействие с ядрами не играет существенной роли, так как ядер в веществе значительно меньше, чем электронов. Кинетическая энергия альфа-частиц при их прохождении через вещество затрачивается главным образом на возбуждение и ионизацию атомов среды и диссоциацию молекул.

Альфа-частица с зарядом $2e$ создает при своем движении электромагнитное поле, которое взаимодействует со слабо связанными с ядром внешними электронами атомов, ускоряет их и переводит на более высокий энергетический уровень, вызывая возбуждение атома, или вырывает за пределы электронной оболочки, производя ионизацию.

Теряя свою энергию при каждом акте взаимодействия с атомами вещества, альфа-частица затормаживается и с понижением скорости движения в течение большего времени находится вблизи того или иного атома. Ее взаимодействие с этим атомом становится более продолжительным, и возрастает вероятность ионизации атома. Если средняя линейная плотность ионизации альфа-частиц в воздухе составляет 30 000 пар ионов на 1 *см* пути, то за несколько миллиметров до конца пробега, когда энергия и скорость альфа-частицы уменьшаются, ее ионизирующая способность достигает максимальной величины — приблизительно 65 000 пар ионов на 1 *см* пути.

Характер линейной плотности ионизации альфа-частицы иллюстрируется кривой, показанной на рис. 8.

Ионизирующие способности альфа-частиц различных энергий одинаковы, но сдвинуты по длине пути частицы. Имея одинаковые энергии, а значит, и одинаковые скорости, альфа-частицы обладают равными ионизирующими способностями и равными пробегами. Величина линейной плотности ионизации максимальна при энергии альфа-частиц 370 *кэв*, что соответствует их скорости, равной $4{,}2 \cdot 10^8$ *см/сек*, достигаемой за 3—4 *мм* до конца пробега частицы в воздухе. Затрачивая на каждый акт ионизации 34 *эв* (средняя энергия ионообразования в воздухе) и обладая энергиями в пределах 4—9 *Мэв*, альфа-частицы на пути движения в воздухе образуют 100—300 тысяч пар ионов.

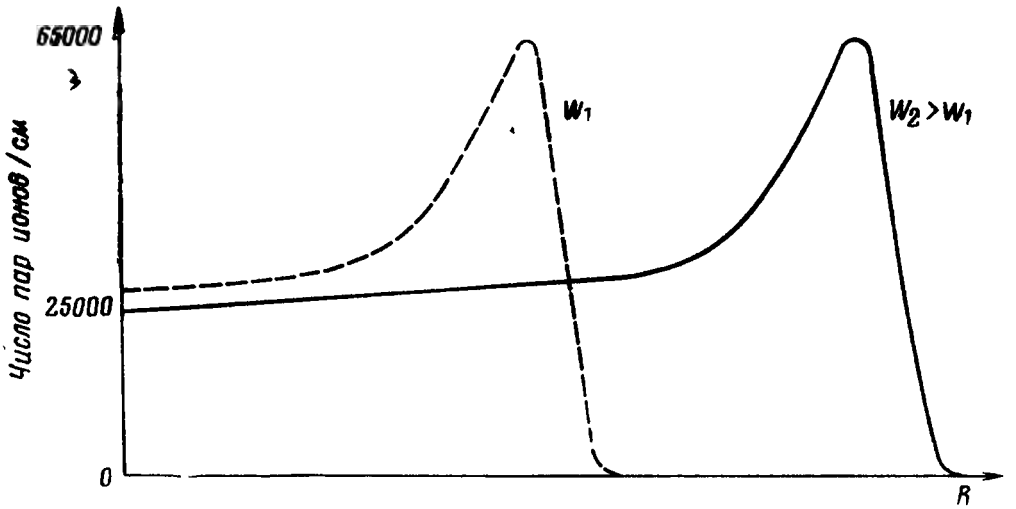


Рис. 8. График линейной плотности ионизации альфа-частиц

Ионизирующая способность альфа-частиц прямо пропорциональна плотности среды и обратно пропорциональна средней энергии ионообразования в среде, с которой взаимодействует альфа-частица. Линейная плотность ионизации альфа-частиц зависит также от концентрации электронов в среде и увеличивается с увеличением Z.

Обладая большой массой, альфа-частицы при взаимодействии со встречными атомами практически не меняют направления своего движения, а создаваемая ими ионизация носит колонный характер, образуя плотные столбики близких друг к другу ионов противоположных знаков, что способствует их рекомбинации.

Выбиваемым при взаимодействии из атомов среды электронам альфа-частицы сообщают значительную энергию (в среднем 200—300 *эв*, максимально 4 *кэв*). Эти электроны, называемые дельта-электронами, двигаясь в среде, производят дополнительную вторичную ионизацию. 60—80% ионизации, вызываемой альфа-частицей в газе, обусловлено образованием ионов вторичными электронами, длина пробега которых в газе составляет несколько миллиметров.

Ионизация среды производится и ядрами, выбиваемыми альфа-частицами из атомов взаимодействующей среды и называемыми ядрами отдачи.

Когда альфа-частица окончательно израсходует весь свой запас кинетической энергии, то присоединяет к себе два электрона и превращается в нейтральный атом гелия.

Длина пробега альфа-частиц в веществе зависит от их начальной энергии и свойств взаимодействующего с ними вещества. Чем больше энергия альфа-частицы, тем больше длина ее пробега и тем больше ионов она создает на своем пути.

Зависимость между числом частиц и длиной пробега, которой они обладают, выражается графиком (рис. 9). Колебания величины пробегов альфа-частиц, обладающих одинаковой энергией, находятся в пределах 1—2% от среднего значения, что не превышает в воздухе 2—3 *мм*. Эти колебания вызываются рассеянием частиц при их столкновении с электронами и ядрами. Теряя в среднем 1 *Мэв* на 30 000 столкновений, в отдельных случаях альфа-частица может при столкновении потерять до 1000 *эв*, что и обусловливает разброс пробега вокруг некоторого среднего значения.

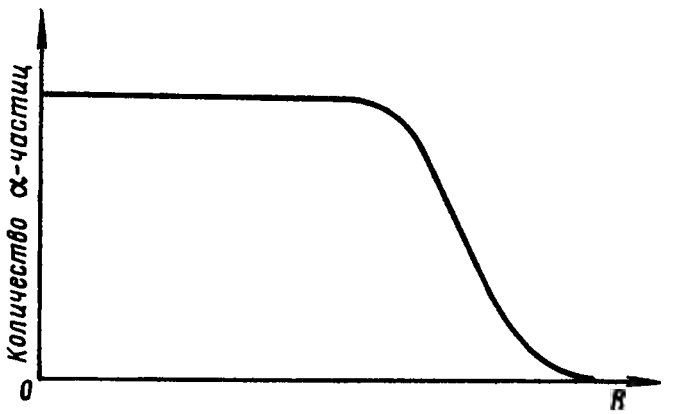


Рис. 9. График зависимости между числом альфа-частиц и длиной пробега

В воздухе длина пробега альфа-частиц в зависимости от их энергии составляет в среднем 2,5—8,6 *см*, наибольший пробег — 11,5 *см*. В жидких и твердых телах пробег альфа-частиц значительно меньше и тем меньше, чем больше плотность вещества. Пробег альфа-частиц в живых тканях не превышает 70 *мкм*.

§ 3. Взаимодействие бета-излучений с веществом

Обладающие электрическим зарядом бета-частицы, взаимодействуя с зарядами вещества, передают его атомам свою кинетическую энергию и рассеиваются. При этом происходит ионизация и возбуждение атомов.

Потеря бета-частицей энергии при каждом акте взаимодействия с веществом сопровождается уменьшением ее скорости до тепловой

скорости движения частиц вещества. Отрицательная бета-частица при этом либо остается в виде свободного электрона, либо присоединяется к нейтральному атому или положительному иону, превращая первый в отрицательный ион, а второй — в нейтральный атом. Положительная бета-частица (позитрон) в конце своего пути, сталкиваясь с электроном, соединяется с ним и аннигилирует. В процессе аннигиляции электрон и позитрон перестают существовать как вещественные частицы и превращаются в два гамма-кванта с энергией 0,51 *Мэв* каждый.

Многократные изменения направления бета-частицы при ее взаимодействии с веществом приводят к тому, что глубина проникновения ее в вещество — длина пробега — оказывается значительно меньше истинной длины пути бета-частицы в веществе (рис. 10), а ионизация носит объемный характер.

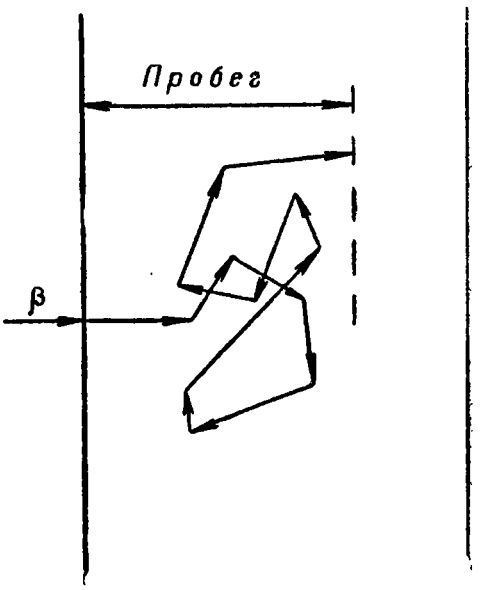


Рис. 10. Истинная длина пути и длина пробега бета-частицы в веществе

(Извилистая кривая линия — истинная длина пути бета-частицы. Длина пробега бета-частицы — наибольшее проникновение ее в глубь вещества)

Ионизирующая способность бета-излучений зависит от энергии бета-частиц. Каждый радиоактивный источник бета-излучений испускает частицы различных энергий — от 0 до 3 *Мэв* у естественных изотопов и до 15 *Мэв* у искусственных изотопов. Имея во много раз меньшую массу, чем альфа-частица, бета-частица приобретает значительно большие скорости. Ввиду этого, а также вследствие того, что заряд бета-частицы в два раза меньше, чем альфа-частицы, взаимодействие электрического поля бета-частицы с электронами атомов на равных расстояниях в два раза слабее, чем альфа-частицы, и значительно кратковременнее. Это является причиной того, что вероятность выбивания электрона из атома бета-частицей меньше, чем альфа-частицей. Она увеличивается при малых скоростях и энергиях бета-частиц, когда становится больше продолжительность их взаимодействия с атомами среды.

Зависимость линейной плотности ионизации бета-частиц от их энергии для воздуха показана на рис. 11.

В среднем линейная плотность ионизации бета-частиц в сотни раз меньше, чем альфа-частиц, и составляет примерно 100—300 пар ионов на 1 *см* пути в воздухе. Общее количество пар ионов, создаваемых бета-частицей при прохождении в веществе, пропорционально ее начальной энергии.

Бета-частица, находясь вблизи атома, передает выбитому из него электрону (дельта-электрону) значительную энергию — до 1000 *эв*. Обладая такой энергией, дельта-электроны производят

вторичную ионизацию, при которой образуется до 30—40% и более пар ионов от общего количества, создаваемого прохождением бета-частиц.

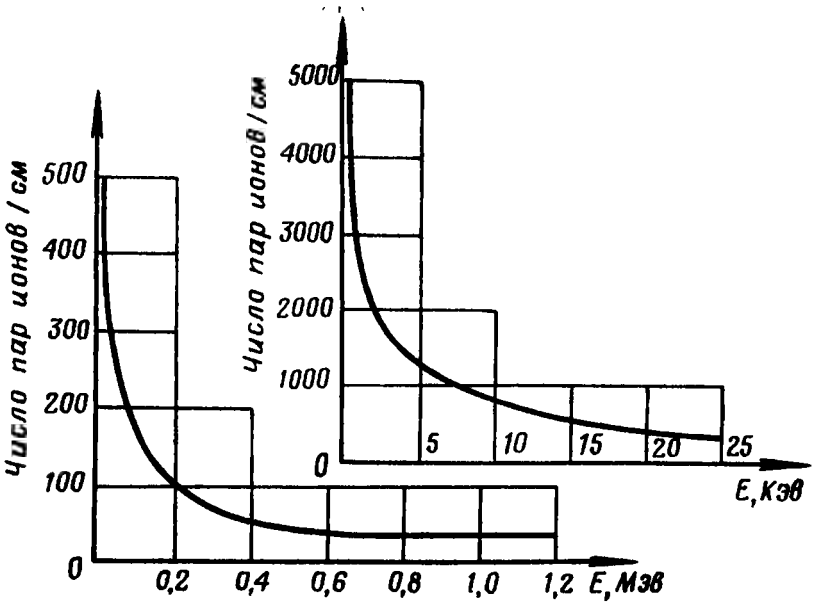


Рис. 11. Зависимость линейной плотности ионизации бета-частиц от их энергии

Потеря энергии бета-частицами и рассеяние их в веществе приводят к постепенному ослаблению потока бета-частиц, которое достаточно точно выражается экспоненциальной зависимостью

$$N = N_0 e^{-\mu_л R}, \tag{5}$$

где N — число бета-частиц, прошедших слой вещества толщиной R в единицу времени;

N_0 — начальное число бета-частиц, падающих в единицу времени на поглощающий слой;

$\mu_л$ — линейный коэффициент поглощения, $см^{-1}$;

R — толщина поглощающего слоя, $см$.

Характер ослабления плотности потока бета-частиц в веществе изображен графически на рис. 12.

Толщина слоя вещества, в котором происходит полное поглощение бета-частиц, соответствует максимальной длине пробега — длине пробега частиц, имеющих наибольшую энергию в данном спектре, и приблизительно может быть определена по формуле

$$R_{макс} = \frac{0{,}546E_{макс} - 0{,}16}{\rho}, \tag{6}$$

где $R_{макс}$ — максимальная длина пробега (толщина поглощающего слоя), $см$;

$E_{макс}$ — максимальная энергия бета-частиц в спектре, $Мэв$;

ρ — плотность поглощающего вещества, $г/см^3$.

Таким образом, длина пробега бета-частиц с увеличением их энергии возрастает.

Обладая меньшей ионизирующей способностью, бета-частица при равных условиях совершает примерно в 100 раз больше пробег в веществе, чем альфа-частица: метры и десятки метров в воздухе, сантиметры — в биологической ткани и т. д.

§ 4. Взаимодействие гамма-излучений с веществом

Среди процессов взаимодействия гамма-квантов с веществом наибольшую вероятность имеют фотоэффект, комптоновское рассеяние и образование пары электрон — позитрон. Вероятность каждого из них зависит от энергии гамма-квантов и плотности вещества, с которым взаимодействуют гамма-кванты.

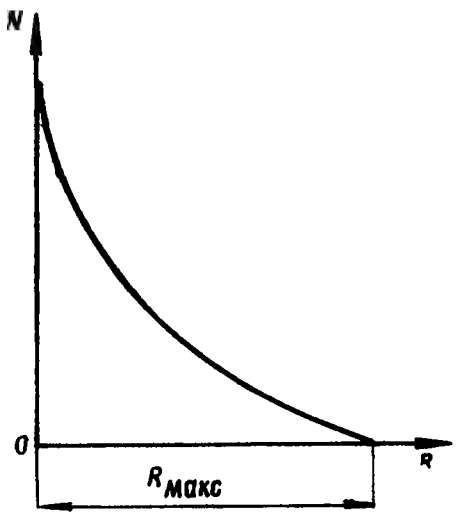


Рис. 12. Ослабление потока бета-частиц в веществе

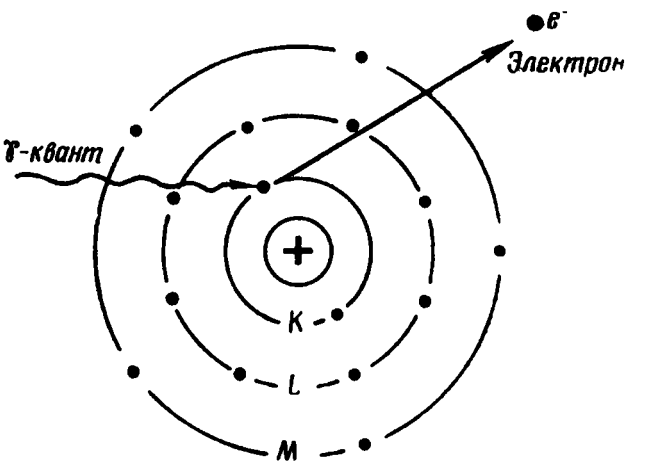


Рис. 13. Фотоэффект

В ряде случаев взаимодействие гамма-кванта с веществом сводится к тому, что он, столкнувшись с атомом вещества, полностью поглощается и выбывает из потока гамма-квантов. Полученная атомом за счет поглощения гамма-кванта дополнительная энергия передается одному из электронов, чаще всего *K*- или *L*-слоя, и сообщает ему такую скорость, что электрон выходит за пределы атома (рис. 13). Небольшая часть энергии гамма-кванта, равная энергии связи электрона с атомом, затрачивается на отрыв электрона от атома, и почти вся его энергия превращается в кинетическую энергию электрона.

Процесс взаимодействия гамма-кванта с веществом, при котором гамма-квант полностью поглощается атомом вещества и выбивает из атома электрон, называется фотоэлектрическим эффектом (фотоэффектом).

Обладая достаточной энергией, выбитый из атома электрон производит ионизацию вещества. Место выбитого электрона на внутренних слоях электронной оболочки занимает один из внешних элек-

тронов. Переход электронов с внешней орбиты на внутреннюю сопровождается испусканием кванта рентгеновского излучения.

Фотоэффект характерен для гамма-излучений с энергией гамма-квантов меньше 0,5 *Мэв*. Его вероятность характеризуется коэффициентом поглощения τ, растет с увеличением заряда элемента и уменьшением энергии гамма-кванта.

При большей энергии гамма-квантов — от 0,5 до 1 *Мэв* преобладание их энергии над энергией связи электронов в атоме оказывается весьма значительным (энергия связи электронов равна нескольким *кэв* для внутренних электронов и порядка 10 *эв* — для внешних). Наиболее вероятным в этом случае становится процесс взаимодействия гамма-кванта с одним из внешних электронов, которое, учитывая значительное превышение скорости гамма-кванта над скоростью электрона в атоме, можно рассматривать как взаимодействие гамма-кванта со свободно покоящимся электроном. В процессе этого взаимодействия гамма-квант, имеющий массу $m = \frac{h\nu}{c^2}$ и соответствующую 1—2 массам электронов m_e, передает ему часть своей энергии, которая переходит в кинетическую энергию электрона и расходуется этим вторичным электроном на ионизацию атомов вещества. Соответственно уменьшается энергия гамма-кванта, при этом изменяется и направление его движения (рис. 14).

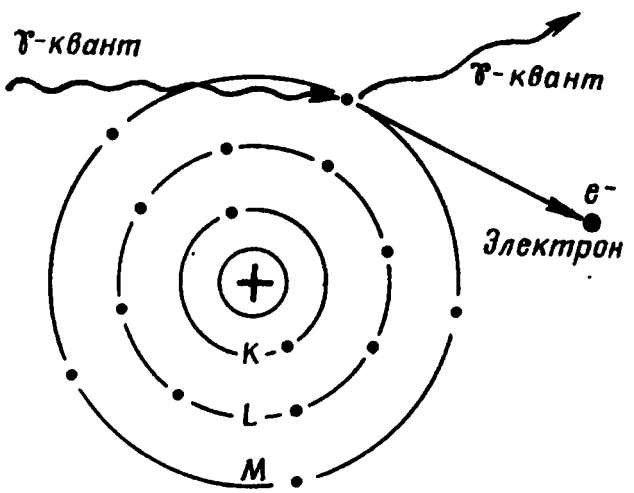


Рис. 14. Эффект Комптона (неупругое рассеяние)

Процесс уменьшения энергии гамма-квантов и рассеяния их электронами получил название комптон-эффекта.

Рассеянные гамма-кванты вновь взаимодействуют с атомами вещества. В результате многократных столкновений с электронами энергия гамма-кванта уменьшается до значений, при которых вероятность фотоэффекта начинает преобладать над вероятностью комптон-эффекта. Ослабление потока гамма-квантов при комптон-эффекте обусловлено как рассеянием, характеризуемым коэффициентом рассеяния $\sigma_р$, так и поглощением энергии гамма-кванта в веществе, характеризуемым коэффициентом поглощения $\sigma_п$. Общий коэффициент ослабления гамма-излучений в результате комптон-эффекта $\sigma = \sigma_р + \sigma_п$. Он уменьшается с возрастанием энергии гамма-квантов и прямо пропорционален отношению $\frac{Z}{A}$ вещества.

При взаимодействии гамма-кванта с электромагнитным полем ядра он может прекратить свое существование как гамма-квант и превратиться в две частицы: электрон и позитрон (рис. 15). Такой процесс взаимодействия гамма-кванта с веществом называется образованием пары электрон — позитрон.

Поскольку энергия покоя электрона и позитрона равна 0,51 *Мэв*, то на их образование расходуется 1,02 *Мэв* и этот процесс может происходить при энергиях гамма-кванта, равных или больших 1,02 *Мэв*. Вся избыточная энергия, которой обладает гамма-квант сверх 1,02 *Мэв*, сообщается поровну в виде кинетической энергии электрону и позитрону. Возникающие при образовании пары электрон и позитрон расходуют свою кинетическую энергию на ионизацию среды, после чего позитрон аннигилирует, соединяясь с одним из имеющихся в среде электронов.

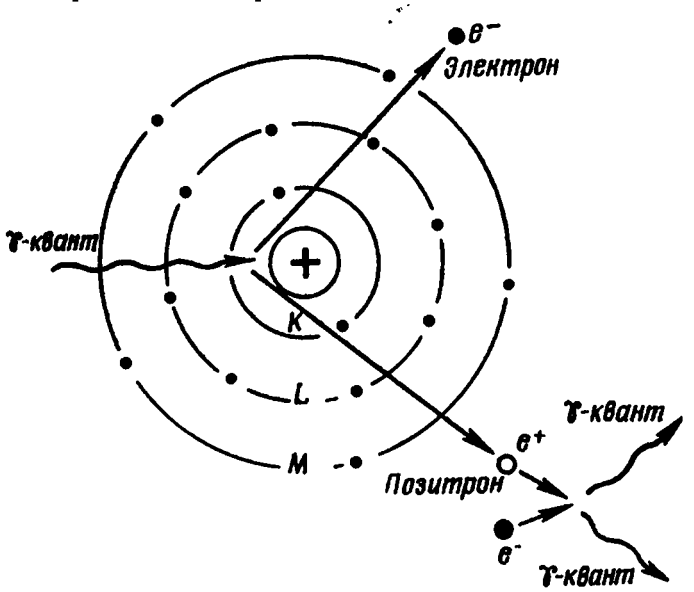


Рис. 15. Образование пары электрон—позитрон

Ослабление потока гамма-излучений в веществе за счет образования пар электрон — позитрон характеризуется коэффициентом поглощения $\varkappa$, который растет с увеличением энергии гамма-квантов и заряда ядра.

Гамма-кванты радиоактивных осколков, образованных при ядерном взрыве, обладают средней энергией, равной примерно 1 *Мэв*, а гамма-кванты, испускаемые радиоактивными изотопами, возникшими в результате захвата нейтронов, — около 6 *Мэв*. Для квантов таких энергий основную роль в ослаблении потока гамма-излучений играет комптон-эффект.

В отличие от альфа- и бета-частиц, непосредственно ионизирующих атомы, гамма-кванты, во всех случаях, взаимодействуя с веществом, вызывают в нем появление свободных вторичных электронов и позитронов, которые и производят ионизацию.

Общее количество пар ионов, создаваемых гамма-квантом некоторой энергии, таково же, что и число их, создаваемых имеющи-

ми равную энергию альфа- и бета-частицами. Но взаимодействие гамма-квантов с атомами вещества носит более редкий характер и образованные ими ионы распределяются на большем расстоянии.

Ионизирующая способность гамма-квантов при одинаковой энергии гамма-квантов и заряженных частиц и при одинаковой взаимодействующей среде в тысячи раз меньше, чем ионизирующая способность заряженных частиц. В воздухе линейная плотность ионизации гамма-квантов составляет 2—3 пары ионов на 1 *см* пути.

Малая ионизирующая способность гамма-излучений обусловливает малую линейную потерю энергии ими и, следовательно, большой путь прохождения их в веществе. Проникающая способность гамма-излучений в тысячи раз больше, чем альфа-излучений, и составляет в воздухе сотни метров.

Ослабление моноэнергетического излучения, состоящего из гамма-квантов одинаковой энергии, при прохождении его через вещество определяется зависимостью (5), в которой для данного случая N_0 и N — соответственно первоначальное число гамма-квантов и число их, сохранившееся после прохождения расстояния R в веществе, а $\mu_л$ — вероятность поглощения и рассеяния гамма-квантов веществом на пути, т. е. линейный коэффициент ослабления, выражаемый формулой

$$\mu_л = \tau + \sigma + \varkappa. \qquad (7)$$

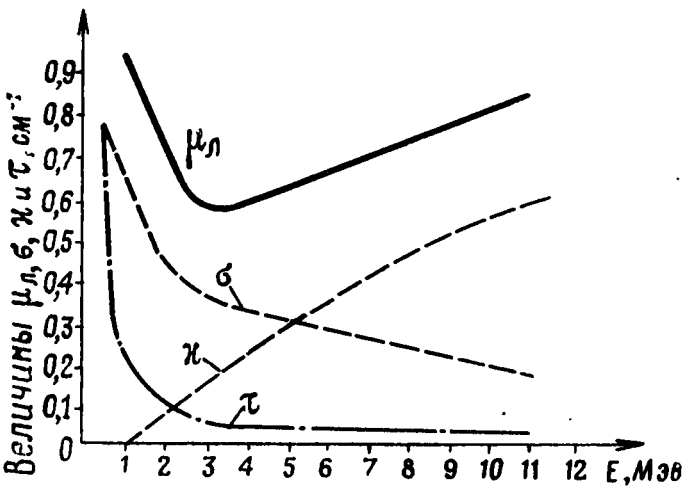


Рис. 16. Зависимость коэффициентов ослабления от энергии гамма-квантов

На рис. 16 показана зависимость коэффициентов ослабления от энергии гамма-квантов.

Коэффициент $\mu_л$ зависит не только от энергии гамма-квантов, но и от плотности и среднего атомного номера вещества среды. Поэтому поглощение гамма-квантов веществом в ряде случаев удобнее выражать массой вещества, приходящейся на 1 *см*^{2} поверхности, перпендикулярной направлению движения гамма-квантов, и наряду с $\mu_л$ часто используется коэффициент $\mu_m = \frac{\mu_л}{\rho}$ (здесь ρ — плотность вещества), называемый массовым коэффициентом погло-

щения. Коэффициент μ_m выражает собой вероятность поглощения и рассеяния гамма-квантов единицей массы вещества, приходящейся на площадь в 1 $см^2$, и измеряется в квадратных сантиметрах на грамм ($см^2/г$).

Из экспоненциального характера ослабления гамма-излучений веществом (рис. 17) следует, что полное ослабление их имеет место лишь в слое вещества бесконечно большой толщины, что изменение толщины этого слоя на одну и ту же величину приводит к изменению числа гамма-квантов в одном и том же отношении.

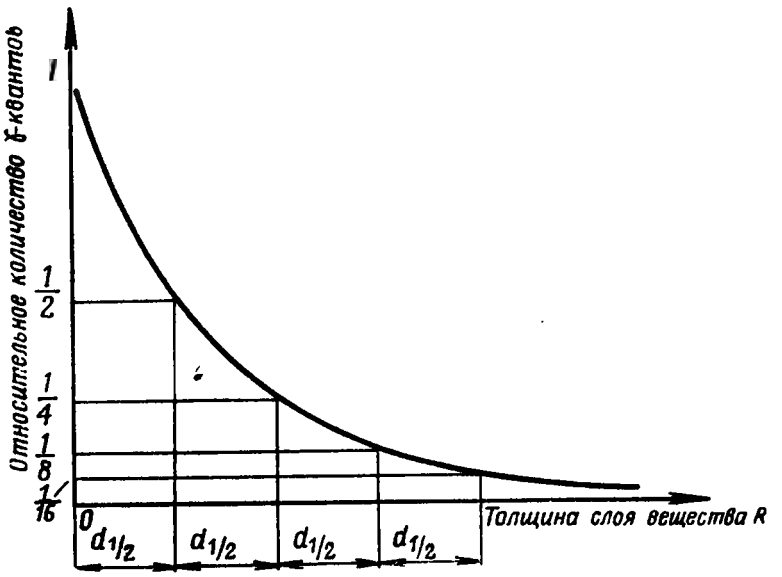


Рис. 17. Ослабление потока гамма-квантов в веществе

Слой вещества, при прохождении которого число гамма-квантов в направлении их первоначального распространения уменьшается в два раза по сравнению с числом упавших на это вещество квантов, называется слоем половинного ослабления излучения $d_{1/2}$. Эта величина является характеристикой поглощающих свойств каждого данного вещества.

Из выражения $N = N_0 e^{-\mu_л R}$ следует, что

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\mu_л R}.$$

Для слоя половинного ослабления

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\mu_л d_{1/2}} = \frac{1}{2}. \qquad (8)$$

Отсюда

$$e^{\mu_л d_{1/2}} = 2;$$

$$\mu_л d_{1/2} = \ln 2;$$

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu_л} = \frac{0{,}693}{\mu_л}. \qquad (9)$$

Наибольшее ослабление гамма-излучения характерно для веществ, содержащих тяжелые элементы (с большим атомным номером).

§ 5. Взаимодействие нейтронов с веществом

Нейтроны, взаимодействуя с веществом, либо рассеиваются, либо захватываются ядрами атомов вещества. Различаются рассеяние упругое и неупругое и захват радиационный и с испусканием заряженных частиц.

Упругим называется такое рассеяние, при котором нейтрон, столкнувшись с ядром атома, передает ему часть кинетической энергии и отскакивает от ядра, изменив направление своего движения, с уменьшенной энергией (рис. 18). При столкновениях переданная нейтроном ядру энергия превращается в кинетическую энергию ядра, которое приходит в движение и называется ядром отдачи. Ядра отдачи, получившие от нейтрона достаточно большую энергию, могут оказаться выбитыми из атомов и будут взаимодействовать с веществом как заряженные частицы, производя ионизацию.

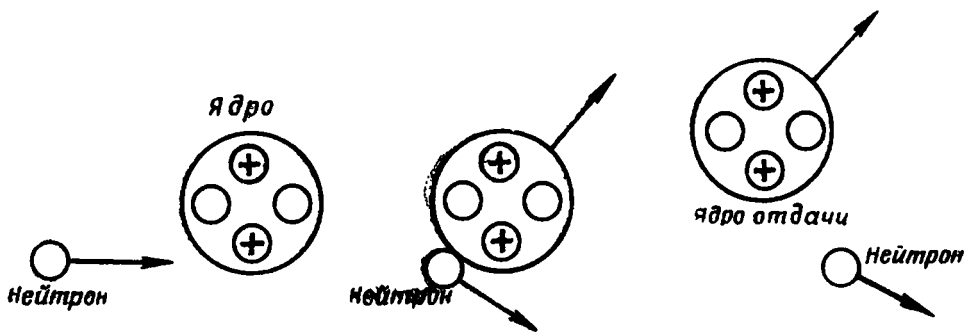


Рис. 18. Упругое рассеяние нейтронов

Наибольшую энергию теряет нейтрон при взаимодействии с ядрами, равными или близкими ему по массе. Так как при этом происходит замедление нейтронов, то особенно эффективными замедлителями являются легкие элементы. Например, энергия нейтрона уменьшается от 1 *Мэв* до тепловой, если он взаимодействует с ядрами кислорода ($A = 16$) при 145 соударениях, с ядрами углерода ($A = 12$) — при 110 соударениях, с ядрами бериллия ($A = 9$) — при 50 соударениях, с ядрами водорода ($A = 1$) — при 18 соударениях.

Вероятность упругого рассеяния растет с уменьшением энергии нейтрона и заряда ядра.

Неупругим рассеянием называется такое взаимодействие нейтрона с ядром, когда нейтрон проникает в него, выбивая один из нейтронов меньшей энергии и другого направления, чем первоначальный и, переводя ядро в возбужденное состояние, из которого оно очень быстро переходит в основное с испусканием гамма-кванта (рис. 19).

Неупругое рассеяние характерно для взаимодействия нейтронов достаточно больших энергий с ядрами тяжелых элементов.

Явление, при котором нейтрон, проникая в ядро, образует более тяжелый изотоп взаимодействующего с ним ядра, называется захватом нейтронов. Ядро, захватившее нейтрон, переходит в возбужденное состояние и, возвращаясь в основное состояние, испускает один или несколько гамма-квантов (рис. 20) с энергией порядка мегаэлектронвольт (радиационный захват) или заряженные частицы (значительно реже).

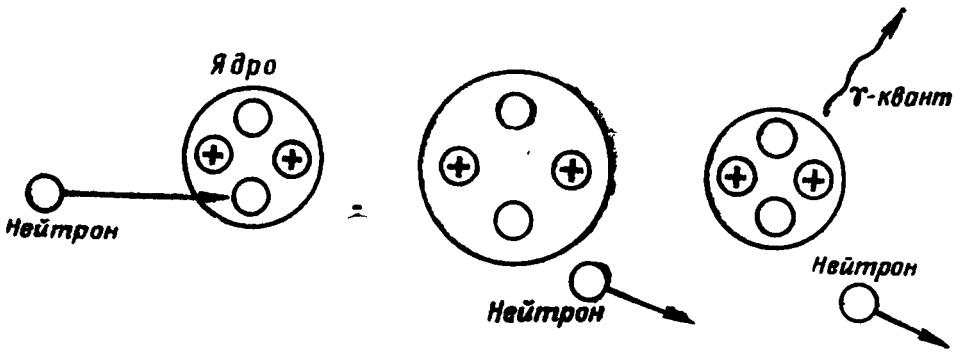


Рис. 19. Неупругое рассеяние нейтронов

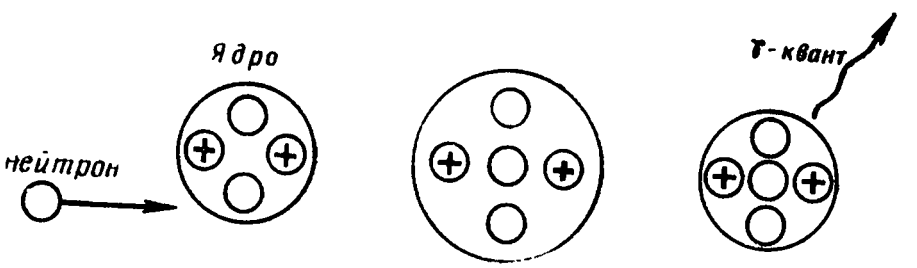


Рис. 20. Захват нейтрона

Захват нейтронов ядрами становится возможным благодаря тому, что, не имея заряда и не испытывая вследствие этого отталкивающего электрического воздействия со стороны ядра, нейтрон способен приблизиться к нему на такие небольшие расстояния, на которых сказываются ядерные силы притяжения. Вероятность захвата возрастает для нейтронов малых энергий вследствие большего времени нахождения нейтрона вблизи ядра.

Поскольку характер взаимодействия нейтронов с ядрами зависит от их энергии, принято различать медленные нейтроны — с энергией не свыше 0,5 *эв*, промежуточные — с энергией от 0,5 *эв* до 200 *кэв*, быстрые — с энергией от 200 *кэв* до 20 *Мэв* и сверхбыстрые — с энергией свыше 20 *Мэв*.

Соударения между нейтронами и электронами, вероятность которых чрезвычайно мала, сопровождаются вследствие большой разности между их массами незначительной (менее 0,2%) передачей энергии от нейтрона к электрону, не приводящей к выбиванию электрона из атома. Поэтому нейтроны практически не взаимодействуют с электронными оболочками атомов и непосредственно не

ионизируют атомы. Нейтроны движутся в веществе без потери энергии, пока не встретятся с ядрами.

Ионизирующее действие нейтронов, имеющее место при их прохождении через вещество, обусловлено вторичными эффектами, возникновением потока гамма-квантов и заряженных частиц, образующихся при взаимодействии нейтронов с ядрами вещества. Линейная плотность ионизации, вызываемая заряженными частицами, больше линейной плотности ионизации, вызываемой гамма-квантами. Исходя из этого, а также из того, что не имеющие заряды нейтроны способны проникать в глубь вещества на значительные расстояния, следует, что линейная плотность ионизации нейтронов имеет промежуточное значение между линейной плотностью ионизации тяжелых заряженных частиц и линейной плотностью ионизации гамма-излучений (равняясь примерно 10% линейной плотности ионизации альфа-частиц).

Ионизация нейтронов носит объемный характер. Чтобы взаимодействовать с ядром, нейтрон должен приблизиться к нему на расстояние действия ядерных сил. Поскольку размеры как самого нейтрона, так и ядра малы, такие столкновения их весьма редки. Этим обусловлены большие расстояния, которые в среднем проходит нейтрон между двумя последовательными столкновениями. В воздухе они составляют около 300 *м*, а в более плотных жидких и твердых веществах — около 1 *см*. Из этого вытекает большая проникающая способность нейтронов, которая сравнима с проникающей способностью гамма-излучений или даже больше ее.

Рассеяние и поглощение нейтронов в веществе, как и в случае гамма-излучения, носит экспоненциальный характер, что позволяет поглощающие свойства по отношению к нейтронам характеризовать слоем половинного ослабления $d_{1/2}$.

Глава III

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ. ОСНОВНЫЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 1. Доза излучения

Мерой воздействия излучений на вещество является доза излучения. Дозой излучения (дозой) D называется энергия излучения, переданная или могущая быть переданной единице массы вещества в процессе взаимодействия излучений с этим веществом.

Переданная веществу энергия включает поглощенную энергию излучений и энергию вторичных излучений, возникающих в результате взаимодействия исходных (первичных) излучений с вещест-

вом. Под поглощенной энергией излучения понимают разность между суммарной энергией частиц и квантов, входящих в данный объем, и суммарной энергией частиц и квантов, покидающих этот объем *.

Принято различать поглощенную дозу излучения, экспозиционную дозу гамма-излучения (или в общем случае квантового излучения) и биологическую дозу излучения.

§ 2. Поглощенная доза излучения и единицы ее измерения

Поглощенной дозой излучения (или поглощенной дозой) $D_п$ называется количество энергии любого вида ионизирующих излучений, поглощенное в единице массы любого вещества:

$$D_п = \frac{W}{m}, \tag{10}$$

где W — поглощенная энергия излучения;

m — масса облучаемого вещества.

Эта величина позволяет дать количественную оценку действия различных видов излучения в различных средах. Она не зависит от объема и массы облучаемого вещества и определяется главным образом ионизирующей способностью и энергией излучений, свойствами поглощающего вещества и продолжительностью облучения.

Единица измерения поглощенной дозы в системе СИ и по ГОСТ 8848—63 равна дозе, соответствующей поглощению энергии в один джоуль в одном килограмме облученного вещества, и называется джоуль на килограмм (*дж/кг*). Кроме того, поглощенная доза излучений измеряется внесистемной единицей — радом и производной от нее — миллирадом.

Радом называется поглощенная доза излучений, равная 0,01 *дж* на 1 *кг* облученного вещества:

$$1\ рад = \frac{0{,}01\ дж}{1\ кг};$$

$$1\ \text{миллирад}\ (мрад) = 10^{-3}\ рад.$$

§ 3. Экспозиционная доза гамма-излучения и единицы ее измерения

Энергия, поглощенная в веществе, расходуется главным образом на его ионизацию и в единице массы облучаемого вещества равна произведению средней энергии ионообразования на число пар ионов, возникающих под воздействием излучений в этой массе. Так как средняя энергия ионообразования является величиной постоян-

* Если взаимодействие излучений с веществом сопровождается ядерными реакциями, то из этой разности следует также вычесть энергию, эквивалентную увеличению массы данного объема.

ной, то поглощенная веществом энергия может определяться числом пар ионов или зарядом, образующимся в единице массы вещества.

Экспозиционной дозой гамма-излучения* (или экспозиционной дозой) $D_э$ называется количественная характеристика излучений, основанная на их ионизирующем действии в сухом атмосферном воздухе и выраженная отношением суммарного электрического заряда ионов одного знака, образованного излучением, поглощенным в некоторой массе воздуха, к этой массе:

$$D_э = \frac{q}{m}, \tag{11}$$

где q — количество зарядов, образованных гамма-излучением в воздухе с массой m.

Оценка дозы излучения по эффекту ионизации в воздухе получила большое распространение, в том числе и в войсковой практике, так как для этой цели имеются достаточно удобные и точные методы измерения. Непосредственное же измерение поглощенной дозы излучения в различных веществах чрезвычайно затруднено, а в ряде случаев и невозможно. Обычно поглощенная доза рассчитывается по измеренной экспозиционной дозе излучения:

$$D_п = kD_э, \tag{12}$$

где k — коэффициент пропорциональности.

Единицей измерения экспозиционной дозы гамма-излучения в системе СИ и по ГОСТ 8848—63 является такая экспозиционная доза, при которой сопряженная с гамма-излучением корпускулярная эмиссия в одном килограмме сухого воздуха образует ионы, несущие заряд в один кулон электричества каждого знака, и называется кулон на килограмм (*к/кг*). Кроме того, единицей измерения экспозиционной дозы гамма-излучений является широко применяемая внесистемная единица рентген (*р*).

Рентген — это такое количество энергии гамма-излучения, при поглощении которого в $1{,}293 \cdot 10^{-6}$ *кг* воздуха сопряженная с гамма-излучением корпускулярная эмиссия образует ионы, несущие заряд, равный $\frac{1}{10c}$ *к* каждого знака, где c — численное значение скорости света в пустоте, равное $3 \cdot 10^8$ *м/сек*.

Под выражением «сопряженная корпускулярная эмиссия» понимаются образованные при поглощении гамма-излучений заряжен-

---

* Экспозиционной дозой характеризуется воздействие всех видов квантового излучения (рентгеновского, гамма-излучения и др.) на вещество в условиях электронного равновесия, т. е. при таком взаимодействии квантового излучения с веществом, при котором поглощенная энергия излучения в некотором объеме среды равна суммарной кинетической энергии частиц, образованных в том же объеме. При наличии электронного равновесия поглощенная доза квантового излучения в воздухе и экспозиционная доза квантового излучения, выраженные в одних и тех же энергетических единицах, равны между собой.

ные частицы, производящие ионизацию воздуха. Число $1{,}293 \cdot 10^{-6}$ представляет собой значение массы в килограммах 10^{-6} $м^3$ атмосферного воздуха при температуре 0° С и давлении 101 325 ньютонов на квадратный метр ($н/м^2$).

Учитывая, что заряд электрона равен $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ $к$ и при заряде $\frac{1}{10c} = \frac{1}{10 \cdot 3 \cdot 10^8} = \frac{1}{3 \cdot 10^9}$ $к$ образуется $\frac{1}{3 \cdot 10^9 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}} = 2{,}08 \times$ $\times 10^9$ пар ионов, а также, что 10^{-6} $м^3 = 1$ $см^3$ и 101 325 $н/м^2 =$ $= 760$ $мм$ $рт.$ $ст.$, можно определить рентген как такое количество энергии гамма-излучения, которое при поглощении в 1 $см^3$ чистого сухого воздуха при температуре 0° С и давлении 760 $мм$ $рт.$ $ст.$ образует $2{,}08 \cdot 10^9$ пар ионов.

$$1\,р = 2{,}58 \cdot 10^{-4}\ к/кг.$$

Помимо рентгена используются производные от него единицы — миллирентген ($мр$) и микрорентген ($мкр$):

$$1\ мр = 10^{-3}\ р;$$

$$1\ мкр = 10^{-6}\ р.$$

Измерение дозы в рентгенах допустимо для гамма-излучений с энергией квантов не более 3 $Мэв$; при больших энергиях гамма-квантов не соблюдается условие электронного равновесия.

§ 4. Количественные соотношения между поглощенной и экспозиционной дозами

Если при дозе в 1 $р$ в $1{,}293 \cdot 10^{-6}$ $кг$ воздуха образуется $2{,}08 \cdot 10^9$ пар ионов, то при этой же дозе в 1 $кг$ воздуха будет создано $\frac{2{,}08 \cdot 10^9}{1{,}293 \cdot 10^{-6}} = 1{,}61 \cdot 10^{15}$ пар ионов. Поскольку на образование в воздухе одной пары ионов расходуется 34 $эв$, а каждый электронвольт равен энергии в $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ $дж$, то общее количество энергии, поглощенное в 1 $кг$ воздуха при дозе в 1 $р$, равно $1{,}61 \times 10^{15} \times 34 \times$ $\times 1{,}602 \times 10^{-19} = 87{,}7 \times 10^{-4}$ $дж/кг$. Следовательно, $1\,р = 87{,}7 \times$ $\times 10^{-4}$ $дж/кг$. Поскольку 1 $рад = 10^{-2}$ $дж/кг$, то $1\,р = 0{,}877$ $рад$ и соответственно 1 $рад = 1{,}14$ $р$. Отсюда поглощенная доза излучения в воздухе

$$D_{\text{п. возд}} = 0{,}877 D_{\text{э}}. \qquad (13)$$

Для других веществ коэффициент пропорциональности между $D_{\text{п}}$ и $D_{\text{в}}$ будет иным. Он зависит от плотности и атомных номеров элементов, входящих в состав этих веществ.

Поглощенная доза в любом другом веществе, в том числе и в биологической ткани, может быть определена по формуле

$$D_{\text{п. вещ}} = \frac{\left(\frac{\mu_л}{\rho}\right)_{\text{вещ}}}{\left(\frac{\mu_л}{\rho}\right)_{\text{возд}}} D_{\text{п. возд}} = 0{,}877 \frac{\left(\frac{\mu_л}{\rho}\right)_{\text{вещ}}}{\left(\frac{\mu_л}{\rho}\right)_{\text{возд}}} D_{\text{э}} = kD_{\text{э}}, \qquad (14)$$

где $\mu_л$ — линейные коэффициенты поглощения гамма-излучений в веществе и воздухе соответственно;

ρ — плотность вещества и воздуха соответственно;

k — коэффициент пропорциональности; этот коэффициент равен

$$k = 0{,}877 \frac{\left(\frac{\mu_л}{\rho}\right)_{вещ}}{\left(\frac{\mu_л}{\rho}\right)_{возд}}. \qquad (15)$$

Мягкие ткани животных и человека воздухоэквивалентны. Это значит, что количество энергии гамма-излучений, поглощаемое в 1 *г* мягких тканей (вода, кровь, мышцы) и в 1 *г* воздуха, практически равно. Помимо биологических тканей к воздухоэквивалентным веществам относятся пластмассы.

Из табл. 2 видно, что для биологических тканей коэффициент k близок к единице и, следовательно, поглощенная доза для них примерно равна экспозиционной дозе для воздуха. Этим и обусловлена возможность оценки воздействия гамма-излучений на организм по величине экспозиционной дозы.

Таблица 2

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА k

Энергия квантов, *Мэв*	k		
	вода/воздух	кости/воздух	мышцы/воздух
0,01	0,92	3,58	0,933
0,1	0,957	1,47	0,957
1	0,974	0,927	0,965
3	0,971	0,937	0,963

§ 5. Биологическая доза излучения и единицы ее измерения

Биологическая доза излучения (биологическая доза) $D_б$ — это количество энергии ионизирующих излучений, определяющее их биологическое воздействие на организм.

Связь между определенным биологическим эффектом и дозой, необходимой для его получения, называется биологической эффективностью.

Вследствие того что линейная плотность ионизации альфа-частиц больше линейной плотности ионизации гамма-квантов, при прочих равных условиях один и тот же биологический эффект вызывается поглощенной дозой гамма-излучения в 10 раз большей, чем поглощенной дозой альфа-излучения.

Для характеристики биологического действия, вызываемого различными видами ионизирующих излучений, вводится понятие относительной биологической эффективности излучения. Относительной биологической эффективностью (ОБЭ) называется отношение поглощенной дозы образцового излучения, вызывающего определенный биологический эффект, к поглощенной дозе данного излучения, вызывающего тот же самый биологический эффект. За образцовое излучение принимается излучение со средней линейной потерей энергии 3 *кэв* на 1 *мкм* слоя воды, что характерно для рентгеновских излучений.

Поскольку рентгеновское и гамма-излучение вызывают ионизацию посредством вторичных электронов, которые производят такую же линейную плотность ионизации, что и бета-излучения, то ОБЭ для всех этих видов излучений одинакова и равна единице. Для других видов излучений ОБЭ зависит от их природы и энергии. Так, для альфа- и протонных излучений ОБЭ равна 10, для нейтронов разных энергий — от 3 до 10, для тяжелых ядер отдачи — 20.

Из сказанного следует, что биологическая доза

$$D_б = \text{ОБЭ} \cdot D_т \tag{16}$$

или, поскольку биологическая ткань воздухоэквивалентна,

$$D_б = \text{ОБЭ} \cdot D_э. \tag{17}$$

ОБЭ не является постоянной величиной для каждого определенного вида излучений и зависит не только от линейной плотности ионизации, но и от общей дозы, от времени, в течение которого она получена, от характера облучения (с перерывами или без) и, наконец, от характера вызываемых облучением биологических эффектов. Так, например, одна и та же по величине доза одного и того же по виду и свойствам излучения на одном и том же биологическом объекте облучения вызывает разные биологические эффекты при различном времени облучения: меньшие при длительном облучении и большие при кратковременном облучении.

Единицей измерения биологической дозы является биологический эквивалент рентгена (*бэр*).

Бэр — это количество энергии любого вида излучения, которое при поглощении в 1 *г* биологической ткани производит такое же биологическое действие, что и гамма-излучение при дозе в 1 *р*.

$$1\ \textit{бэр} = \frac{1\ р}{\text{ОБЭ}}.$$

Другая единица измерения биологической дозы излучений — *рем* — определяется как количество энергии любого вида излучений, которое при поглощении в 1 *г* биологической ткани производит такое же биологическое действие, что и гамма-излучение при дозе в 1 *рад*:

$$1\ \textit{рем} = \frac{1\ \textit{рад}}{\text{ОБЭ}}.$$

Поскольку воздействие ионизирующих излучений на живой организм и связанные с этим биологические эффекты поражения организма пропорциональны поглощенной организмом дозе, то организация контроля облучения организма и измерение доз с целью предупреждения воздействия на него дозами, вызывающими эффекты поражения, является одной из важнейших задач дозиметрии, в том числе и войсковой.

§ 6. Мощность дозы и единицы ее измерения

Доза излучения, отнесенная к единице времени, называется мощностью дозы или уровнем радиации и обозначается буквой P.

$$P = \frac{D}{t}. \tag{18}$$

Отношение поглощенной дозы излучения ко времени есть мощность поглощенной дозы $P_п$:

$$P_п = \frac{D_п}{t}. \tag{19}$$

Отношение экспозиционной дозы ко времени есть мощность экспозиционной дозы $P_э$:

$$P_э = \frac{D_э}{t}. \tag{20}$$

Мощность дозы излучения есть количество энергии ионизирующих излучений, поглощаемое в единице массы (объема) за единицу времени, и выражает собой скорость накопления дозы.

Единицей измерения мощности поглощенной дозы излучения является джоуль в секунду на килограмм — ватт на килограмм (*вт/кг*) или рад в секунду (*рад/сек*).

Единицей измерения мощности экспозиционной дозы излучения является кулон в секунду на килограмм — ампер на килограмм (*а/кг*) или рентген в секунду (*р/сек*). В войсковой практике используются производные единицы от рентгена в секунду: рентген в час (*р/ч*) и миллирентген в час (*мр/ч*):

$$1\ р/ч \approx 2{,}8 \cdot 10^{-4}\ р/сек;$$

$$1\ мр/ч = 10^{-3}\ р/ч \approx 2{,}8 \cdot 10^{-7}\ р/сек.$$

Между единицами рентген в час и ампер на килограмм имеет место следующее соотношение:

$$1\ р/ч = 0{,}72 \cdot 10^{-7}\ а/кг.$$

Измерение мощностей доз — одна из важнейших задач дозиметрии. Оно позволяет определять время, в течение которого создаются дозы, не вызывающие опасного биологического эффекта в организмах, или, наоборот, могущие вызвать его поражение, а также позволяет определить границы пространства, в пределах которого создаваемые в течение некоторого времени дозы могут оказаться опасными.

§ 7. Активность

Активность есть мера интенсивности распада радиоактивных веществ и определяется как количество распадов ядер атомов радиоактивного вещества в единицу времени, т. е. как скорость распада ядер.

Если радиоактивное вещество содержит N атомов и его постоянная распада, выражающая долю распадающихся атомов в единицу времени, λ, то активность будет равна

$$a = \lambda N. \tag{21}$$

Известно, что $\lambda = \frac{0{,}693}{T}$; следовательно,

$$a = 0{,}693 \frac{N}{T}, \tag{22}$$

где T — период полураспада радиоактивного вещества.

Грамм-атом вещества содержит $6{,}02 \cdot 10^{23}$ атомов. В массе m вещества с массовым числом A число атомов

$$N = \frac{6{,}02 \cdot 10^{23} m}{A} \tag{23}$$

и активность

$$a = 0{,}693 \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \frac{m}{AT} = 4{,}182 \cdot 10^{23} \frac{m}{AT}. \tag{24}$$

Чем короче период полураспада и меньше масса атома, тем большей активностью обладает 1 *г* чистого радиоактивного вещества. Активность 1 *г* вещества называют удельной.

Активность является количественной характеристикой и не отражает качественных особенностей радиоактивного распада, связанных с видом и энергией излучаемых частиц.

§ 8. Единицы измерения активности

Единицей измерения активности в соответствии с системой СИ и ГОСТ 8848—63 является распад в секунду (*расп/сек*). Практически используется и производная от нее единица — распад в минуту (*расп/мин*).

$$1 \text{ } расп/мин = 0{,}017 \text{ } расп/сек.$$

В практике большое применение получила внесистемная единица измерения активности — к ю р и.

$$1\ кюри = 37 \cdot 10^9\ расп/сек = 2{,}22 \cdot 10^{12}\ расп/мин.$$

Производными от кюри единицами измерения являются м и л л и к ю р и (*мкюри*) и м и к р о к ю р и (*мккюри*):

$$1\ мкюри = 10^{-3}\ кюри;$$

$$1\ мккюри = 10^{-6}\ кюри.$$

Определение активности изготовленных из радиоактивных веществ источников ионизирующих излучений чрезвычайно важно, в частности для градуировки дозиметрической аппаратуры.

§ 9. Изменение активности во времени

Активность вещества не постоянна во времени. Ее уменьшение носит тот же экспоненциальный характер, что и процесс радиоактивного распада:

$$a = a_0 e^{-0{,}693 \frac{t}{T}}, \qquad (25)$$

где a_0 — активность вещества в начальный момент времени ($t = 0$);

t — текущее время, которому соответствует активность вещества;

T — период полураспада.

При взрывах ядерных боеприпасов, как уже указывалось, образуется до 200 радиоактивных элементов с периодами полураспада от долей секунды до 30 лет. Активность каждого из этих веществ, взятого в отдельности, уменьшается в соответствии с приведенной формулой. Однако активность всех веществ в совокупности убывает по более сложному закону. В начальный период времени эти вещества обладают очень большой активностью благодаря наличию среди них большого количества радиоактивных элементов с малыми периодами полураспада. Поэтому в первое время активность радиоактивного облака и зараженной при взрыве местности и других объектов уменьшается очень быстро. По мере распада короткоживущих элементов все большую роль начинают играть элементы с большими периодами полураспада и уменьшение активности происходит медленнее. Через несколько месяцев исчезают все элементы с периодом полураспада меньше недели; через год 99,9% активности приходится на долю восьми радиоактивных элементов; через 20 лет остается лишь пять радиоактивных элементов, а 99,9% активности приходится лишь на два из них — цезий-137 и стронций-90.

§ 10. Соотношение между активностью вещества и создаваемой им мощностью дозы

Мощность дозы, создаваемая в какой-либо точке пространства, зависит от количества ионизирующих частиц, поглощаемых за единицу времени в единице объема среды, заполняющей рассматриваемое пространство. Эти частицы составляют некоторую долю от числа частиц, проходящих через единицу объема в единицу времени. В конечном итоге мощность дозы зависит от испускаемого источником излучений числа частиц в единицу времени, т. е. от активности источника. Кроме того, она зависит от энергии частиц, от формы и размеров источника, от расстояния между ним и облучаемой средой.

Под источником излучений понимается всякий объект, содержащий радиоактивные вещества. Источники, линейные размеры которых малы по сравнению с расстоянием между ними и облучаемой средой, называются точечными.

Если источник при каждом акте распада испускает одну частицу, которая может двигаться в любом направлении в телесном угле 4π, то общее количество частиц, испускаемых в этом угле источником с активностью a, выражается величиной

$$N = 37 \cdot 10^6 a, \tag{26}$$

где $37 \cdot 10^6$ — количество частиц, испускаемых веществом при его активности в 1 *мк*.

На расстоянии R *см* от источника это число частиц приходится на площадь $4\pi R^2$ и на каждый квадратный сантиметр поверхности в 1 *сек* падает $\frac{N}{4\pi R^2}$ частиц. Если энергия каждой испускаемой частицы равна E *Мэв*, то энергия, падающая на 1 *см*^{2} в 1 *сек* на расстоянии R от источника, равна

$$\frac{NE}{4\pi R^2} = \frac{37 \cdot 10^6 Ea}{4\pi R^2} \; Мэв/см^2 \cdot сек. \tag{27}$$

Это соотношение справедливо для вакуума, где нет рассеяния и поглощения излучений. В воздухе на расстояниях до десятков метров гамма-излучения практически не рассеиваются, а поглощение их характеризуется линейным коэффициентом поглощения $\mu_л$. Энергия, поглощенная в течение 1 *сек* средой с поверхностью в 1 *см*^{2} и глубиной в 1 *см*, т. е. мощность дозы, будет равна

$$P = \frac{37 \cdot 10^6 \mu_л Ea}{4\pi R^2} \; Мэв/см^3 \cdot сек. \tag{28}$$

Поскольку при уровне радиации в 1 *р/ч* в 1 *см*^{3} образуется $2{,}08 \cdot 10^9$ пар ионов, а на образование одной пары ионов затрачивается 34 *эв*, то мощность дозы, выраженная в рентгенах в час, будет

$$P = \frac{37 \cdot 10^6 \cdot 3600}{4\pi \cdot 34 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}08 \cdot 10^9} \mu_л E \frac{a}{R^2} = 150 \cdot 10^3 \mu_л E \frac{a}{R^2} \; р/ч. \tag{29}$$

Для гамма-квантов определенной энергии, которыми характеризуется радиоактивное вещество каждого данного источника, величины E и $\mu_л$ постоянны. Поэтому, обозначив

$$i = 150 \cdot 10^3 \mu_л E, \tag{30}$$

для моноэнергетических излучений можно записать

$$P = i \frac{a}{R^2}. \tag{31}$$

Из формулы видно, что мощность дозы, создаваемая точечным источником, прямо пропорциональна активности источника и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ним и облучаемой средой.

Коэффициент пропорциональности i называется ионизационной гамма-постоянной. Каждое радиоактивное вещество имеет свою характерную гамма-постоянную, что обусловлено присущей этому веществу энергией излучаемых гамма-квантов и соответствующему ей коэффициенту $\mu_л$. Ионизационная гамма-постоянная радиоактивного вещества численно равна мощности дозы (в *р/ч*), которую создает образованный этим веществом точечный источник активностью 1 *мкюри* на расстоянии в 1 *см*.

§ 11. Степень зараженности радиоактивными веществами поверхностей и объемов нерадиоактивных веществ. Соотношение между активностью и степенью зараженности

Радиоактивное вещество может быть растворено, находиться в смеси или быть распределенным по поверхности нерадиоактивного вещества. Чем больше активность радиоактивного вещества, находящегося в таком контакте с нерадиоактивным, тем больше и воздействие испускаемых им излучений как на данное вещество, так и на окружающую его среду, для которой оно становится источником излучения. Радиоактивное заражение представляет собой определенную концентрацию некоторой активности (радиоактивных веществ) на нерадиоактивных веществах или в них.

С количественной стороны радиоактивное заражение принято характеризовать степенью зараженности, под которой понимается величина активности, приходящаяся на единицу объема, веса или поверхности этих веществ.

Соотношение между активностью радиоактивного вещества и степенью зараженности зараженного им нерадиоактивного вещества может быть выражено следующими формулами:

— для жидких веществ:

$$c = \frac{a}{V}; \tag{32}$$

— для твердых веществ:

$$c = \frac{a}{P}; \tag{33}$$

— для поверхностей:

$$c = \frac{a}{S}, \tag{34}$$

где c — степень зараженности;
a — активность;
V, P и S — соответственно объем, вес и площадь зараженных веществ.

§ 12. Единицы измерения степени зараженности

Единицами измерения степени зараженности являются:

*расп/сек·м*³; *расп/сек·кг*; *расп/сек·м*².

В войсковой практике в качестве единиц измерения степени зараженности используются:

— для жидких веществ:

*расп/мин·см*³; *расп/мин·л*; *кюри/л*; *млкюри/л*;

— для твердых веществ:

расп/мин·г;

— для поверхностей:

*расп/мин·см*².

Кроме того, в полевых условиях военной практики степень зараженности оценивается по той мощности дозы, которая создается зараженным объектом на определенном расстоянии (1—2 *см*) от его поверхности в миллирентгенах в час.

Степень зараженности в полевых условиях измеряется с тем, чтобы, учитывая вероятность попадания радиоактивных веществ с зараженных поверхностей на поверхность тела или внутрь человеческого организма, а также попадание их в организм с водой или пищей и концентрацию в различных органах, определить дозу излучений, воздействующую на организм и отдельные его органы, и те биологические эффекты, которые она может вызвать.

Естественно, что при заражении поверхности одним каким-либо радиоактивным веществом, для которого характерен определенный период полураспада и определенная энергия частиц, эта доза при прочих равных условиях будет пропорциональна степени зараженности. Однако при ядерных взрывах образуется большое количество различных радиоактивных веществ с разными периодами полураспада и энергиями испускаемых частиц. Со временем изотопный состав этих веществ и средняя энергия испускаемых ими час-

тиц изменяются. К тому же средняя энергия частиц различна при термоядерном и ядерном взрывах. Это значит, что даже при одной и той же степени зараженности дозы будут зависеть еще и от времени, прошедшего после взрыва, и от типа взрыва.

При измерении степени зараженности по мощности дозы гамма-излучения, создаваемой продуктами ядерного взрыва, время, прошедшее после взрыва, и тип взрыва учитываются автоматически.

Мощность дозы гамма-излучения пропорциональна активности (а значит, и степени зараженности, так как в случае радиоактивного заражения ее можно рассматривать как суммарную мощность дозы, создаваемую многочисленными точечными источниками) и ионизационной постоянной, которая для каждого радиоактивного вещества имеет определенное значение и с изменением изотопного состава меняется. Со временем ионизационная постоянная возрастает, особенно резко в течение первых 10—15 суток. В то же время активность (степень зараженности) уменьшается наиболее резко в первые сутки. Поэтому мощность дозы остается почти постоянной, т. е. не зависит от времени, прошедшего с момента взрыва.

Ионизационная постоянная продуктов термоядерного взрыва через 3—5 суток после взрыва примерно в два раза меньше, чем при ядерном взрыве. Это значит, что равным мощностям доз, создаваемым продуктами распада термоядерного взрыва и продуктами распада ядерного взрыва соответствуют различные степени зараженности (в *расп/мин · см²*) — большие для термоядерного, меньшие для ядерного.

Измерение степени зараженности необходимо для суждения об опасности, создаваемой зараженными объектами, и практических выводах о необходимости и полноте удаления с этих поверхностей радиоактивных веществ (дезактивации), а также о режиме потребления продуктов питания, воды, фуража.

§ 13. Соотношение между степенью зараженности и мощностью дозы гамма-излучения

Большие поверхности, зараженные при ядерных взрывах, можно рассматривать состоящими из отдельных точечных источников. Мощность дозы в некоторой точке над такими поверхностями будет равна сумме мощностей доз, создаваемых в этой точке всеми точечными источниками.

Если за точечный источник принять квадратный сантиметр поверхности, имеющий степень зараженности c *расп/мин · см²*, то мощность дозы будет прямо пропорциональна степени зараженности c, энергии испускаемых квантов E и линейному коэффициенту поглощения $\mu_л$. Кроме того, она зависит от расстояния между точечным источником и той точкой пространства, в которой определяется мощность дозы, и от рассеяния излучений, особенно при больших расстояниях. Эффект рассеяния в свою очередь зависит

от энергии гамма-квантов. Если для учета последних обстоятельств ввести коэффициент f, то мощность дозы над зараженной площадью может быть выражена формулой

$$P = \mu_л Ecf \ Мэв/мин \cdot см^3 \tag{35}$$

или

$$P = \frac{60}{34 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}08 \cdot 10^9} \mu_л Ecf = 842{,}7 \cdot 10^{-6} \mu_л Ecf \ р/ч. \tag{36}$$

Коэффициент $\mu_л$ для гамма-квантов с энергией от 0,1 до 2 *Мэв* практически постоянен и равен примерно $3{,}4 \cdot 10^{-5}$.

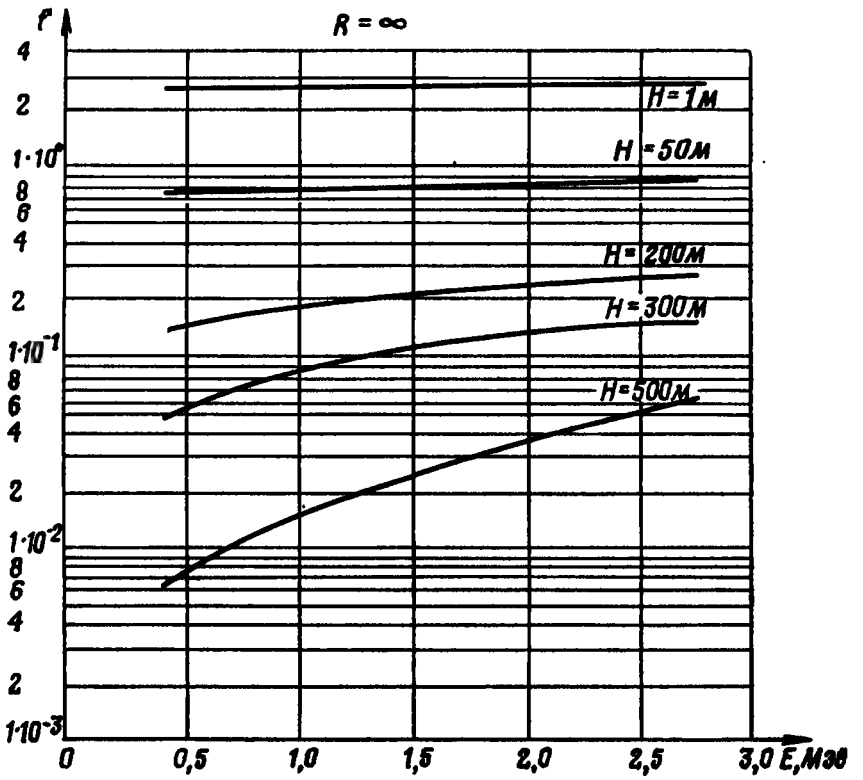


Рис. 21. График зависимости коэффициента f от энергии гамма-квантов E и высоты H над равномерно зараженной поверхностью с бесконечно большим радиусом R

Значения коэффициента f, рассчитанные по экспериментальным данным, в зависимости от энергии гамма-квантов и высоты точки над зараженной поверхностью при бесконечном радиусе равномерно зараженной поверхности показаны на рис. 21.

Из рис. 21 видно, что на высотах меньше 200 *м* мощность дозы почти не зависит от энергии гамма-квантов в пределах от 0,41 до 3 *Мэв* и определяется только степенью зараженности, что позволяет при измерениях на этих высотах по мощности дозы определять степень зараженности или мощность дозы у поверхности земли.

Поскольку для высот 0,7—1 *м* над землей $\mu_л$ и f постоянны, причем $f \approx 2{,}7$, то

$$P = 842{,}7 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}4 \cdot 10^{-5} \cdot 2{,}7\, Ec = 77{,}33 \cdot 10^{-9}\, Ec.$$

Отсюда

$$c = \frac{10^9 P}{77{,}33 E} = 13 \cdot 10^6 \frac{P}{E}. \qquad (37)$$

Для излучений с энергией гамма-квантов от 0,41 до 3 *Мэв*

$$c\,[расп/мин \cdot см^2] \approx (5 \div 40) \cdot 10^6 P\ [р/ч]. \qquad (38)$$

Эта формула ориентировочна, так как расчет произведен на основе опытных данных без учета влияния поверхности земли на образование дозы на некоторой высоте над нею и при условии равномерного заражения поверхности бесконечно большого радиуса.

Зависимость коэффициента f от радиуса равномерно зараженной поверхности показана на рис. 22, из которого видно, что на высоте 1 *м* около 90% мощности дозы образуется источниками, находящимися в радиусе до 200—300 *м*. С увеличением высоты доля

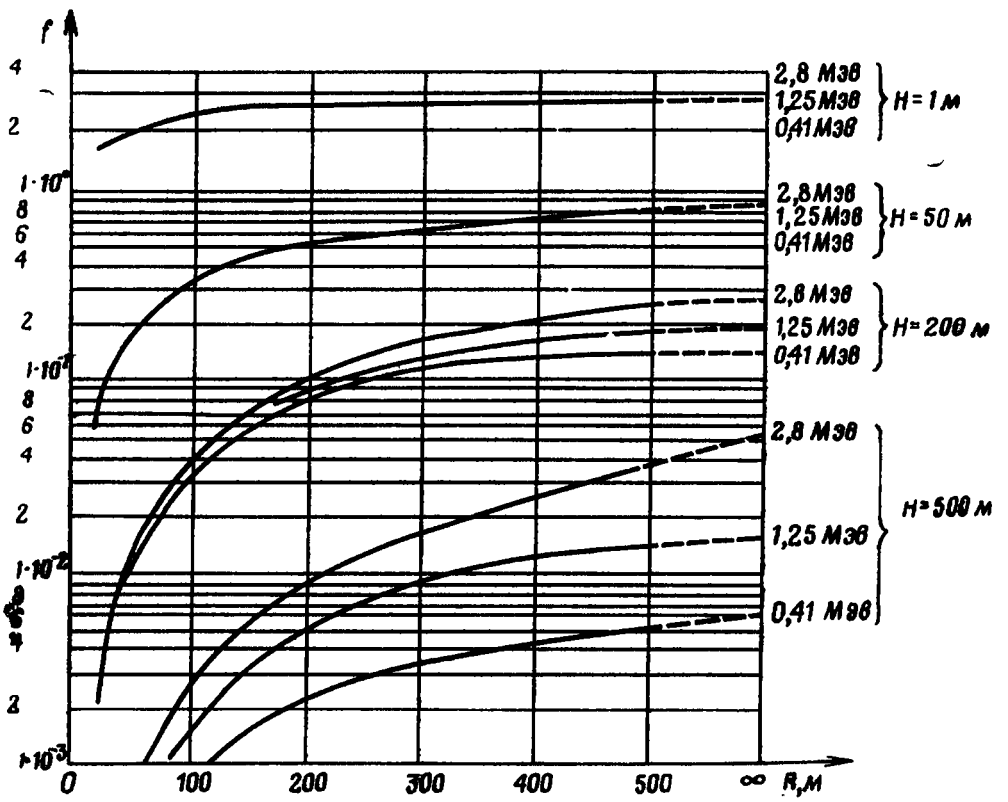


Рис. 22. График зависимости коэффициента f от энергии гамма-квантов E, высоты H над равномерно зараженной поверхностью и радиуса R зараженной поверхности

отдаленных участков в образовании мощности дозы растет; например, если на высоте 1 *м* 50% мощности дозы создается зараженной поверхностью в радиусе 15 *м*, то на высоте 500 *м* — в радиусе 280—450 *м*, что необходимо иметь в виду при измерениях на высоте. Поэтому, чтобы судить о мощностях доз у поверхности земли по результатам измерений, произведенным на некоторой высоте над ней, необходимо пользоваться специальными таблицами пересчетных высотных коэффициентов ослабления, учитывающими особенности образования мощностей доз на различных расстояниях от поверхности земли.

Глава IV

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ

§ 1. Воздействие ионизирующих излучений на воду и биологические ткани организма

Всякий живой организм содержит белки, углеводы, жиры и т. д., а также в значительном количестве воду. В организме человека воды имеется до 65%, а в отдельных его органах до 80%. В воде под воздействием излучений происходит расщепление молекул и образуются химически активные свободные радикалы H·, OH· и HO_2·, которые, вступая в реакцию с биологическими тканями, производят в них изменения, приводящие к определенным биологическим эффектам.

Значительная часть энергии ионизирующих излучений воспринимается высокомолекулярными и надмолекулярными белковыми структурами, которые в организме человека составляют 15—19% общего веса. Сложные жизненные процессы находятся в тесной связи со строением белков. Поэтому изменения в их структуре, вызванные непосредственной ионизацией при облучении, приводят к существенным биологическим изменениям, которые еще больше усиливаются воздействием излучений на ферменты, также имеющие белковую природу и играющие роль регуляторов-катализаторов биохимических процессов. Изменения в структуре белков наблюдаются не только в процессе облучения, но и после его прекращения, так как при воздействии излучений образуются соединения, подверженные медленному распаду.

Ионизирующие излучения, воздействуя на углеводы, липиды, витамины клеток, вызывают в них структурные изменения, образование химически активных токсических веществ и потерю ими биологических свойств.

§ 2. Воздействие ионизирующих излучений на клетку и на организм в целом

Клетка представляет собой элементарную структурную единицу живой материи. В то же время она является весьма сложным образованием, насчитывающим миллиарды молекул.

При действии на клетку смертельной дозы излучений в ней возникает несколько тысяч химически и структурно измененных молекул. Происходящие под воздействием излучений изменения структуры и свойств, входящих в состав клетки молекул белков, ферментов, липидов и других веществ, и повреждения мембран и перегородок внутри клеток приводят к нарушению упорядоченности и последовательности биологических процессов в клетке, а также к нарушению обмена веществ и процесса деления.

Большие дозы излучения вызывают гибель клетки. При меньших дозах гибель клеток наступает не сразу. Еще меньшие дозы вызывают гибель только части клеток или временную приостановку или замедление деления клеток. Временная потеря способности клеток к делению говорит о том, что клетки могут устранить нанесенное им повреждение и восстановить нормальный жизнедеятельный процесс деления. Этот процесс восстановления проявляется сильнее и соответственно поражение клетки будет слабее при облучении ее той же дозой в течение большего времени, т. е. при меньшей мощности дозы. Однако способность клетки к восстановлению не безгранична.

Ионизирующие излучения оказывают воздействие на все системы и ткани организма, который реагирует на них как единое целое. Большую роль в этом играет нервная система. Воздействие излучений на нервные клетки приводит к изменениям в функциональной деятельности различных систем и органов. Регулирующая роль нервной системы проявляется и через продукты деятельности желез внутренней секреции — гормоны.

Воздействие ионизирующих излучений на организм приводит к резкому нарушению обмена веществ, может вызвать изменение наследственности.

Как правило, чем выше степень развития организма, тем более он чувствителен к ионизирующим излучениям. Но даже организмы одного вида обладают неодинаковой чувствительностью к излучениям. Это объясняется рядом причин: интенсивностью процесса обмена веществ, особенностями химического состава, возрастом.

Большое значение имеют условия облучения. Одна и та же доза, полученная в различные промежутки времени или с перерывами, оказывает разный биологический эффект. Организм способен восстанавливать в известной мере свою функциональную деятельность, ликвидируя последствия радиационного поражения путем замены поврежденных клеток. Если воздействие излучений кратко-

временно, то организм не успевает преодолевать эффект поражения, который в этом случае является наибольшим. Если же доза излучений воздействовала на организм в течение длительного времени или со значительными интервалами во времени, то процессы восстановления в нем существенно уменьшают эффект поражения. Однако всегда имеется некоторое остаточное поражение, эффект которого может проявиться при повторном облучении.

Очень резко влияет на чувствительность организма к излучениям экранирование отдельных его частей. Это объясняется неодинаковой чувствительностью к излучениям клеток различных тканей и органов и той ролью, которую играют отдельные органы в жизнедеятельности и в восстановительных процессах организма.

§ 3. Естественный фон ионизирующих излучений

Излучения природных радиоактивных веществ, а также космические излучения образуют естественный фон ионизирующих излучений. Мощность дозы излучений космической радиации неодинакова в разных точках земного шара: у полюсов земли она на 14% выше, чем в средних широтах, а на высоте 3000 *м* над уровнем моря в три раза больше, чем у его поверхности. Мощность дозы излучения земли значительно выше над поверхностями, образованными гранитами, сланцами, и ниже над поверхностями, состоящими из осадочных пород и известняков.

Многие предметы, окружающие человека, являются источниками ионизирующих излучений. В кирпичных и железобетонных домах мощность дозы примерно в четыре раза выше, чем в деревянных.

Организм человека содержит в себе радиоактивные вещества K^{40}, Ra^{226}, C^{14} и др. Период полураспада калия K^{40} $1{,}8 \cdot 10^9$ лет; он попадает в организм с пищей и является источником бета- и гамма-излучений. Имеющийся в организме радий альфа-активен. Радон попадает в организм человека из воздуха, в котором всегда присутствует благодаря радиоактивному распаду природных элементов; он также альфа-активен. Бета-активный углерод C^{14} образуется в атмосфере в результате ядерной реакции азота с нейтронами космических излучений; в составе углекислоты он поглощается растениями и через них попадает в организм животных и человека.

Влиянию естественного фона ионизирующих излучений подвержено все живое на земле в течение всего периода его существования — от зарождения до конца жизни. Величина дозы облучения человека за год в среднем составляет 0,1 *р*, в течение всей жизни — 5—7 *р*. Естественный фон не вызывает вредных последствий в организме, однако значительное увеличение его в результате испытаний ядерного оружия может представить определенную опасность.

§ 4. Внешнее облучение организма

Внешнее облучение организма имеет место при воздействии на него проникающей радиации ядерного взрыва, действующей в течение нескольких секунд, а также излучений специальных источников и объектов, зараженных радиоактивными веществами, действие которых может быть продолжительным. Излучения могут оказать воздействие на организм лишь в том случае, если они обладают достаточной проникающей способностью. Альфа- и бета-излучения значительно или полностью поглощаются средой, разделяющей организм и внешний источник, поэтому при внешнем облучении основную роль играют гамма- и нейтронное излучение.

Гамма-излучения ионизируют ткани организма на всю его глубину. Образующиеся при этом электроны в свою очередь вызывают ионизацию и разрушение тканей. Длина пути этих электронов невелика, но они образуются более или менее равномерно по всему организму

Нейтроны, взаимодействуя с водородом, содержащимся в тканях организма, образуют протоны, которые ионизируют ткани на небольших расстояниях от места возникновения. Кроме того, нейтроны могут поглощаться ядрами атомов, образуя радиоактивные ядра и ядра отдачи, производящие сильную ионизацию. Нейтроны также обладают большой проникающей способностью и вызывают поражения во всех тканях организма.

§ 5. Внутреннее облучение организма

При непосредственном контакте с зараженными объектами радиоактивные вещества могут попасть вместе с воздухом, водой или пищей внутрь организма и участвовать в обмене веществ наряду с неактивными веществами. Ряд радиоактивных веществ способен накапливаться в определенных органах и тканях, создавая в них высокую концентрацию активности. Некоторые радиоактивные вещества надолго задерживаются в организме, оказывая на него вредное воздействие.

Альфа-излучения, испускаемые веществами, попавшими внутрь организма (так же, как и на поверхностные покровы его), поглощаются в незначительном слое живых тканей, непосредственно примыкающих к этим веществам, образуя вторичные электроны, которые тоже ионизируют ткани на небольших расстояниях от места образования. Бета-излучения поглощаются в слое толщиной в несколько миллиметров. Поэтому при заражении организма альфа- и бета-активными веществами вредному воздействию излучений подвергается ограниченный тонкий слой тканей, примыкающий к месту концентрации радиоактивных веществ.

Гамма-излучения, испускаемые попавшими в организм гамма-активными веществами, оказывают такое же воздействие, какое и при внешнем облучении.

§ 6. Поражающее действие ионизирующих излучений

Нарушения, возникающие в организме при воздействии больших доз ионизирующих излучений, могут вызвать лучевую болезнь. Это заболевание сопровождается ослаблением организма, расстройством желудочно-кишечного тракта, изменением состава крови, кровоизлияниями, выпадением волос, уменьшением сопротивляемости различным заболеваниям, а при очень больших дозах — смертью.

В зависимости от тяжести поражения организма различаются три степени лучевой болезни.

Лучевая болезнь первой (легкой) степени возникает при одноразовом облучении всего организма в пределах 100—250 *р* и протекает без резко выраженных симптомов. Скрытый период заболевания длится 2—3 недели, после чего появляется слабость, тошнота, головокружение, изменение состава крови. Болезнь оканчивается выздоровлением.

Лучевая болезнь второй (средней) степени возникает при одноразовых дозах 250—400 *р* и протекает с более резко выраженными признаками. Выздоровление при эффективном лечении длится 1,5—2 месяца.

Лучевая болезнь третьей (тяжелой) степени возникает при одноразовых дозах 400—600 *р*, характеризуется сокращенным скрытым периодом и протекает более интенсивно. Выздоровление наступает через несколько месяцев.

Дозы свыше 600 *р* вызывают лучевую болезнь четвертой (крайне тяжелой) степени, которая в большинстве случаев заканчивается смертельным исходом.

Одноразовые дозы до 50 *р* не вызывают каких-либо болезненных явлений в организме, а при дозах от 50 до 100 *р* могут иметь место первые признаки лучевой болезни без потери трудоспособности.

Действия излучений на поверхностные покровы организма вызывают лучевые ожоги, сопровождающиеся воспалением, появлением опухолей, волдырей, язв, выпадением волос, помутнением хрусталика глаза.

Глава V

МЕРЫ ЗАЩИТЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

§ 1. Допустимые дозы излучения

Цель защиты организма от воздействия ионизирующих излучений — предупредить его поражение. В этой связи устанавливаются предельно допустимые дозы излучения. Предельно допустимыми дозами называют максимальные значения доз излучения, установленные соответствующими правилами радиационной

безопасности. При систематической работе с источниками ионизирующих излучений предельно допустимая доза внешнего гамма-излучения составляет 100 *мр* в неделю или 5 *р* в год.

В практике различают однократные и многократные дозы. Однократной называется доза, полученная без перерыва или с одним или несколькими перерывами в процессе облучения не более чем за четверо суток; многократной называется доза, полученная в течение более четырех суток. Однократная допустимая доза равна 50 *р*, многократная допустимая доза равна 100 *р* — за время до 10—30 суток, 200 *р* — за три месяца и 300 *р* — за год. Повторные облучения после получения допустимых доз возможны в исключительных случаях спустя 1,5—2 месяца.

С целью предупреждения переоблучения, а также для определения тяжести поражения ионизирующими излучениями и лечебно-профилактических мероприятий производится групповой и индивидуальный контроль облучения путем измерения доз с помощью дозиметров.

§ 2. Допустимые степени зараженности

Если степень зараженности тех или иных объектов радиоактивными веществами превышает определенные значения, то это представляет серьезную опасность для организма.

Допустимые степени зараженности различных объектов продуктами ядерного взрыва, при которых контакт с зараженными объектами без применения специальных защитных средств не представляет опасности для организма, приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

ДОПУСТИМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗАРАЖЕННОСТИ ПРОДУКТАМИ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ (ВОЗРАСТОМ БОЛЕЕ 1 СУТОК) ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ, НЕ ПРИВОДЯЩИЕ К ЛУЧЕВОМУ ПОРАЖЕНИЮ

Наименование объекта	Мощность дозы, *мр/ч*
Поверхность тела человека	20
Нательное белье	20
Лицевая часть противогаза	10
Обмундирование, снаряжение, обувь, средства индивидуальной защиты	30
Личное оружие	20
Поверхность тела животного	50
Боевая техника и техническое имущество	200
Инженерные сооружения, корабли, самолеты, стартовые комплексы:	
внутренние поверхности	100
наружные поверхности	500
борты кораблей	1000
Внутренние поверхности хлебопекарен, продовольственных кладовых, шахтных колодцев и т. д.	50

Таблица 4

ДОПУСТИМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗАРАЖЕННОСТИ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ И ВОДЫ ПРОДУКТАМИ ЯДЕРНОГО ДЕЛЕНИЯ, НЕ ПРИВОДЯЩИЕ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ИХ ПОТРЕБЛЕНИИ К ЛУЧЕВОМУ ПОРАЖЕНИЮ И НЕ ОТЯГЧАЮЩИЕ ПОРАЖАЮЩИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕШНЕГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ

Наименование продукта	Измеряемый объем (поверхность)	Допустимая зараженность, *мр/ч*, при возрасте осколков деления		
		1 сутки	5 суток	более 10 суток
Вода	Котелок	10	5	2
	Ведро	20	10	4
Жидкие, сыпучие (зерно) пищевые продукты, пища в сваренном виде	Котелок	10	5	2
Макаронные изделия, вермишель, сухофрукты	Котелок	5	2,5	1
Хлеб	Буханка	6	3	1,5
Мясо	Туша, полутуша	100	50	20
Рыба	25×25 *см*^{2} (1 *кг*)	10	5	2
Молоко:	Котелок			
взрослые		0,6	0,6	0,6
дети		0,1	0,1	0,1

Примечание. Объем котелка 1,5 *л*, ведра — 9—10 *л*.

С целью определения необходимых мер по ограничению контакта с зараженными объектами и употребления зараженных продуктов питания осуществляется контроль заражения путем производства радиометрического анализа и измерения уровней радиации, создаваемых зараженными объектами, с помощью радиометров.

§ 3. Защита от воздействия ионизирующих излучений путем ограничения времени облучения

Доза, воздействующая на организм, равна произведению мощности дозы P на время t действия излучений:

$$D = Pt. \tag{39}$$

Чтобы облучение оставалось в пределах допустимой дозы $D_д$ допустимое время $t_д$ не должно превышать величины

$$t_д = \frac{D_д}{P}. \tag{40}$$

Соблюдение этого условия позволяет надежно защитить организм от поражения. Для определения времени $t_д$ необходимо знать мощность дозы; она может быть измерена рентгенметрами.

§ 4. Защита от воздействия ионизирующих излучений путем увеличения расстояния от источника

Мощность дозы P, создаваемая точечным источником с активностью a на некотором расстоянии R от источника, обратно пропорциональна квадрату расстояния (см. формулу (31). Если, например, увеличить расстояние между источником и объектом облучения в два раза, воздействующая на него мощность дозы уменьшится в четыре раза. Во столько же раз уменьшится при том же времени облучении и получаемая им доза (так как $D = Pt$).

Таким образом, увеличение расстояния — простой и эффективный метод защиты от воздействия ионизирующих излучений, особенно когда начальные расстояния малы.

§ 5. Защита от воздействия ионизирующих излучений путем применения поглощающих экранов и сооружений

Уменьшить облучение организма можно, поместив на пути прохождения ионизирующих излучений поглощающие экраны. Защитные свойства экрана характеризуются кратностью ослабления $к$, под которой понимается отношение мощности дозы P_0 падающих на экран излучений к мощности дозы P излучений, прошедших через экран:

$$к = \frac{P_0}{P}. \tag{41}$$

Защитным экранирующим действием обладают и различные сооружения. Альфа-излучения поглощаются весьма тонкими слоями различных веществ. Бета-излучения также легко поглощаются: 50% их задерживается одеждой, еще 25% — ороговевшими слоями кожи. Для экранирования гамма-излучений наиболее пригодны вещества с большой плотностью и большим атомным весом, такие, как свинец; широко применяется бетон.

Быстрые нейтроны замедляются такими материалами, как парафин, графит, вода. Замедленные нейтроны легко поглощаются бором, кадмием, гадолинием, индием. Поэтому при защите от нейтронов используется комбинация замедляющих и поглощающих веществ. Так как при взаимодействии нейтронов с веществом экрана могут возникнуть и гамма-излучения, то необходима дополнительная защита и от них. Широко в качестве защитного экрана от нейтронного излучения применяется бетон со специальными наполнителями.

Защитные экраны не должны иметь трещин и щелей. Толщина их рассчитывается по специальным таблицам и номограммам, а также по слоям половинного ослабления. Если слой половинного ослабления вещества $d_{1/2}$ уменьшает мощность дозы в два раза, то слой толщиной x уменьшает мощность дозы в $2^{\frac{x}{d_{1/2}}}$ или 2^n раз, где $n = \frac{x}{d_{1/2}}$ — количество слоев половинного ослабления в веществе толщиной x. Зная заданную кратность ослабления, можно записать:

$$\kappa = \frac{P_0}{P} = 2^{\frac{x}{d_{1/2}}} \text{ или } \kappa = \frac{P_0}{P} = 2^n. \quad (42)$$

Отсюда

$$\ln \kappa = \frac{x}{d_{1/2}} \text{ или } x = d_{1/2} \ln \kappa \text{ и}$$

$$\ln \kappa = n. \quad (43)$$

Зависимость между кратностью ослабления κ и числом слоев половинного ослабления n приводится в табл. 5.

Таблица 5

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ КРАТНОСТЬЮ ОСЛАБЛЕНИЯ κ И ЧИСЛОМ СЛОЕВ ПОЛОВИННОГО ОСЛАБЛЕНИЯ n

Кратность ослабления κ	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024
Число слоев половинного ослабления n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

§ 6. Применение индивидуальных средств защиты

При работе с открытыми радиоактивными веществами, с объектами, зараженными ими, и на зараженной радиоактивными веществами местности применяются индивидуальные средства защиты: противогазы (респираторы), специальная одежда, защитные перчатки. Кроме того, при работе с открытыми радиоактивными ве-

ществами используются вытяжные шкафы и закрытые камеры с защитными перчатками.

Эти средства применяются для того, чтобы предохранить организм от попадания в него радиоактивных веществ.

§ 7. Химическая защита от излучений

Предупреждать поражение организма ионизирующими излучениями можно с помощью некоторых химических веществ. К ним относятся цистеамин, меркаптоэтилгуанидин и другие сходные с ними вещества. Защитное действие этих веществ проявляется, если их ввести в организм за 5—15 *мин* до облучения.

Механизм действия защитных веществ объясняется тем, что они, вступая в реакцию с создаваемыми излучениями радикалами, предупреждают образование активных перекисей.

С помощью химических веществ действие ионизирующих излучений на организм ослабляется примерно в два раза.

Глава VI

МЕТОДЫ И ТЕХНИКА ОБНАРУЖЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

§ 1. Классификация методов обнаружения ионизирующих излучений

Ионизирующие излучения обнаруживают по тем эффектам, которые проявляются при их взаимодействии с веществом. Различают следующие методы обнаружения излучений:

— **сцинтилляционный**, при котором под воздействием излучений образуются вспышки света, регистрируемые непосредственным наблюдением или с помощью фотоумножителей;

— **химический**, при котором ионизирующие излучения обнаруживаются с помощью химических реакций, изменения pH и проводимости, происходящих при облучении жидкостей; к этому же методу относятся образование центров окраски, люминесцирующих центров и обесцвечивание в стеклах, а также фотографический метод, сопровождающийся выделением зерен серебра в фотографическом слое вдоль траектории частицы;

— **метод, основанный на проводимости кристаллов**, при котором облучение вызывает ток в кристаллах, изготовленных из диэлектрических материалов, и изменяет проводимость кристаллов из полупроводников;

— **тепловой, или калориметрический,** основанный на использовании непосредственного или косвенного теплового эффекта, возникающего при взаимодействии излучений с веществом во всем теле или вдоль траектории частицы;

— **ионизационный,** при котором используется эффект ионизации газовой среды, вызываемый воздействием на нее ионизирующих излучений.

§ 2. Сцинтилляционный метод обнаружения ионизирующих излучений

Сцинтилляции — это световые вспышки, возникающие при воздействии ионизирующих излучений на некоторые вещества, называемые люминофорами.

В основе сцинтилляционного метода обнаружения излучений лежит явление люминесценции: свечение вещества, вызванное возбуждением атомов и молекул, когда входящие в их состав электроны переходят на более высокие энергетические уровни и спустя некоторое время возвращаются в основное состояние.

От веществ, применяемых в качестве сцинтилляторов, требуется, чтобы они давали сильные и равномерные вспышки, обладали высоким коэффициентом поглощения ионизирующих излучений, не поглощали значительно собственного излучения, имели небольшое время высвечивания. К таким люминофорам относится группа неорганических веществ: иодистый натрий NaJ, иодистый цезий CsJ, иодистый литий LiJ, вольфрамат кадмия $CdWO_4$, вольфрамат кальция $CaWO_4$ и сернистый цинк ZnS. В качестве сцинтилляторов используются также инертные газы: аргон, ксенон и др. Из органических веществ наибольшее применение получили такие, как антрацен, нафталин, стильбен, фенантрен, терфенил, дифенил.

§ 3. Сцинтилляционные счетчики

Сцинтилляционный счетчик (рис. 23) — устройство, соединяющее люминесцирующий кристалл, в котором энергия ионизирующих излучений превращается в световую энергию сцинтилляций, с фотоэлектронным умножителем (ФЭУ), в котором энергия световых вспышек превращается в электрическую энергию. Фотоэлектронный умножитель представляет собой стеклянную колбу с откачанным из нее воздухом, в которую помещаются несколько электродов. Катод под воздействием фотонов света, возникающих в люминофоре, облучаемом ионизирующими излучениями, испускает первичные электроны. Фокусирующий электрод направляет поток этих электронов на эмиттер (динод). Эмиттеры при их бомбардировке первичными электронами испускают вторичные электроны. Практически каждый электрон, падающий на эмиттер, выбивает из него 3—4 электрона. Анод собирает все вторичные электроны.

Отношение числа вторичных электронов, испускаемых эмиттером, к числу первичных электронов, попадающих на него, называе-

мое коэффициентом вторичной эмиссии, зависит от структуры эмиттера и от энергии электронов, взаимодействующих с эмиттером. Последняя определяется разностью потенциалов, которая воздействует на электроны на их пути от катода к первому эмиттеру, от первого эмиттера ко второму и т. п. Чтобы придать

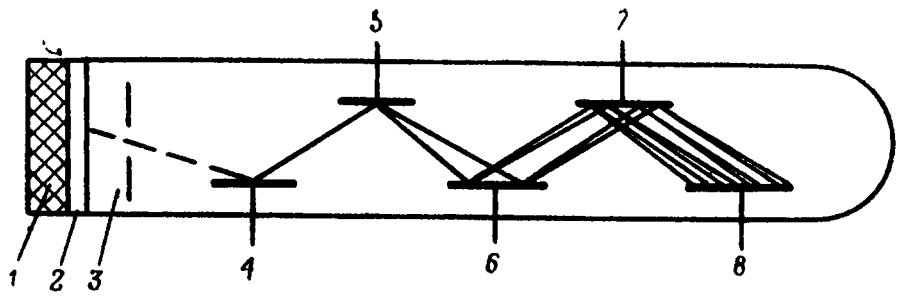


Рис. 23. Устройство сцинтилляционного счетчика:
1 — люминесцирующий кристалл; *2* — катод; *3* — фокусирующий электрод; *4, 5, 6* и *7* — эмиттеры; *8* — анод

электронам энергию движения, обеспечивающую необходимый коэффициент вторичной эмиссии между катодом и первым эмиттером, между первым эмиттером и вторым и т. д. должны быть соответствующие разности потенциалов. Причем на катод подается отрицательный потенциал, а на каждый последующий эмиттер все больший положительный потенциал. Наибольший положительный потенциал имеет анод. Практически фотоумножители имеют напряжение между электродами около 100 *в*, примерно 10—12 каскадов усиления и общее напряжение питания 1000—1200 *в*.

Если фотоумножитель обладает n каскадами, на анод попадает в $(3 \div 4)^n$ раз больше электронов, чем их было выбито из катода. Практически общий коэффициент усиления фотоэлектронного умножителя равен 10^5—10^6 раз и больше (до 10^{10} раз). Электроны, попадающие на анод, образуют ток в его цепи. Этот ток силой до нескольких миллиампер может быть зарегистрирован с помощью включенного в анодную цепь миллиамперметра или нагрузочного сопротивления, на котором создается достаточно большое напряжение (иногда до 100 *в*) и которое является связующим звеном между фотоумножителем и последующей регистрирующей схемой.

С помощью сцинтилляционных счетчиков можно по числу импульсов, возникающих в них в единицу времени, определять активность источников, а по величине тока в цепи — мощности доз излучений. Оба метода использования счетчиков позволяют измерять и другие характеристики излучений.

Фотокатод в счетчике обычно выполняется полупрозрачным, нанесенным на торцовое окно ФЭУ. Чувствительность используемых для счетчиков фотокатодов порядка нескольких десятков микроампер на люмен, что соответствует выбиванию одного электрона из фотокатода при падении на него 10—11 фотонов света.

В качестве люминофоров в сцинтилляционных счетчиках применяются прозрачные неорганические и органические кристаллы, пластмассы и жидкости. Для регистрации альфа-частиц наиболее часто используются кристаллы сернистого цинка, активированного серебром или медью. Бета- и гамма-излучения главным образом регистрируются активированными теллуром кристаллами галогенидов (NaJ, KJ и др.) и органическими кристаллами. Эти же вещества используются для обнаружения быстрых нейтронов, а при добавлении бора и медленных нейтронов.

Большое достоинство сцинтилляционных счетчиков состоит в том, что с их помощью можно определять самые различные характеристики ионизирующих излучений, они имеют высокую чувствительность ко всем видам излучений, обеспечивают большие точность измерений и разрешающую способность (быстродействие). Сцинтилляционные счетчики обладают высокой эффективностью регистрации ионизирующих излучений.

Недостатками сцинтилляционных счетчиков является изменение ими свойств во времени, а также наличие тока при отсутствии излучений.

§ 4. Химический метод обнаружения ионизирующих излучений

Химический метод обнаружения ионизирующих излучений основан на том явлении, что возникающие при воздействии излучений ионы и возбужденные атомы и молекулы вещества могут диссоциировать, образуя свободные радикалы. Эти ионы и радикалы вступают в реакцию между собой или с другими атомами и молекулами, образуя новые вещества, появление и количество которых позволяет судить о наличии и количественной характеристике ионизирующих излучений.

Вещества, воспринимающие энергию ионизирующих излучений и преобразующие ее в химическую энергию, могут находиться во всех трех агрегатных состояниях: газообразном, жидком и твердом.

§ 5. Химические дозиметры

Для измерения больших доз ионизирующих излучений (от 1000 *р* и выше) широко применяется реакция окисления ионов двухвалентного железа Fe^{++} в ионы трехвалентного железа Fe^{+++}. Железо окисляется в кислой среде свободными радикалами $HO_2\cdot$ и $OH\cdot$, возникающими в воде при ее облучении ионизирующими излучениями:

$$Fe^{++} + HO_2\cdot \rightarrow Fe^{+++} + HO_2^-;$$

$$Fe^{++} + OH\cdot \rightarrow Fe^{+++} + OH^-.$$

Кроме того, имеют место также и реакции:

$$HO_2^- + H^+ \rightarrow H_2O_2;$$

$$Fe^{++} + H_2O_2 + H^+ \rightarrow Fe^{+++} + H_2O + OH\cdot.$$

На 100 *эв* поглощенной водой энергии происходит окисление 15,6 ионов железа. Если к раствору добавить реактивы, которые при взаимодействии с трехвалентным железом Fe^{+++} образуют окрашивающие его вещества, то по плотности окраски можно судить о воздействующей на раствор дозе.

В водном растворе нитрата калия KNO_3 при воздействии излучений в результате ряда реакций образуется ион NO_2^-. Взаимодействующие с ионами NO_2^- индикаторные реактивы придают раствору окраску. Степень окраски зависит от дозы и, как в случае раствора железа, определяется колориметрическим способом. Практически раствор нитрата с индикаторным реактивом помещается в стеклянную ампулу. Интенсивность окраски раствора сравнивается с окраской сменных цветных светофильтров при помещении ампулы в колориметр, причем окраска фильтров соответствует определенным значениям дозы.

Этими методами измеряются дозы гамма-излучения. Однако при добавке в растворы соединений бора возникает возможность регистрировать и дозы нейтронного излучения.

Использование системы хлороформ — вода позволяет производить измерение доз от 10—100 *р* и больше, а использование водного раствора индала, четыреххлористого углерода с этиловым спиртом и др. — от нескольких долей рентгена и выше.

Некоторые сорта стекол (кобальтовые) под воздействием излучений в результате протекающих в них радиационно-химических реакций теряют свою прозрачность. Степень их потемнения зависит от дозы излучений. Другие сорта стекол (фосфатные, активированные серебром) после облучения становятся люминесцирующими, хотя до воздействия на них ионизирующих излучений такими свойствами не обладали. Свечение вызывается дополнительным воздействием на облученное стекло ультрафиолетовым светом. С помощью стекол измеряют дозы от 10—50 *р* и выше.

В последнее время получены стекла на основе лития, позволяющие производить измерения от 0,015 до 10^4—10^5 *р*. В этих пределах интенсивность люминесценции линейно зависит от дозы и мало меняется с изменением энергии квантов излучения.

Значительный интерес представляют термолюминесцентные вещества — фтористый кальций, борат лития, плавиковый шпат, у которых после воздействия ионизирующих излучений люминесценция может быть вызвана последующим прогревом. Такие вещества позволяют производить измерения в пределах от 5—10 *мр* до 10^3—10^5 *р* и больше.

Ряд кристаллов галогенидов щелочных металлов под воздействием ионизирующих излучений приобретает окраску, интенсивность которой можно определить колориметрическим методом.

Основным достоинством химического метода обнаружения ионизирующих излучений и измерения их количественных характеристик при применении жидких веществ является то, что этот метод позволяет создать и использовать среды, весьма близкие по своим

поглощающим способностям к тканям живого организма. Поэтому эффект воздействия на них ионизирующих излучений может служить прямой мерой, поглощенной тканями энергии излучений. Химический метод, кроме того, позволяет измерять дозы при больших уровнях радиации.

Твердые дозиметры имеют малые размеры: стержень — 1 × × 6 *мм*, пластинка — толщину 1—1,5 *мм* и площадь 20 × 20 *мм* и меньше. Они могут служить документальным подтверждением полученной дозы.

Недостатки химического метода: малая чувствительность, значительная погрешность и зависимость результатов измерений от энергии ионизирующих частиц.

§ 6. Фотографический метод обнаружения ионизирующих излучений

Фоточувствительный слой представляет собой мелкие кристаллы галогенидов серебра, распределенные в желатине, нанесенной на прозрачную подложку. В общем случае на 1 $см^2$ поверхности приходится 10^8—10^9 таких кристаллов, называемых зернами.

Под воздействием ионизирующих излучений зерна превращаются в центры скрытого почернения. Последующий процесс проявления, заключающийся в воздействии на эти центры химическими реактивами, приводит к восстановлению серебра, которое выпадает в виде длинных тонких нитей, свернутых в комок и хорошо поглощающих свет. Ввиду последнего обстоятельства место, где произошло образование металлического серебра, воспринимается как черная точка, а совокупность таких точек, расположенных близко друг к другу, — как черное пятно. Оставшиеся неподверженными воздействию излучений кристаллы галогенидов серебра растворяются в фиксирующих веществах. Чем больше доза воздействующих на фотослой излучений, тем больше степень его почернения.

Степень почернения фотослоя принято характеризовать оптической плотностью почернения s. Под этой величиной понимается логарифм отношения интенсивности света J_0, прошедшего через фотослой в месте, не подвергшемся действию излучений, к интенсивности света J, прошедшего через фотослой в месте, почерневшем под действием излучений:

$$s = \log \frac{J_0}{J}. \qquad (44)$$

Зависимость плотности почернения от дозы показана на рис. 24. Из графика видно, что в определенных пределах изменения величины дозы, характеризующих ширину фоточувствительного слоя, имеет место прямопропорциональная зависимость между плотностью почернения s фотослоя и дозой D (прямолинейный участок характеристики). Это позволяет судить о воздействующей на фотослой дозе по плотности почернения.

Плотность почернения фотослоя измеряется с помощью специальных приборов — денситометров и фотометров.

Фотографический метод позволяет измерять дозы гамма- и нейтронных излучений в диапазоне от 0 до 10 *р* с точностью до 0,1 *р*, а при использовании специальных фоточувствительных слоев — до 20 000 *р*.

Важнейшим преимуществом фотографического метода перед всеми остальными является его документальность. Фоточувствительный слой, нанесенный на пленку, дает возможность длительно сохранять результат воздействовавшей на него дозы излучения. Этот метод позволяет получить практически любую чувствительность.

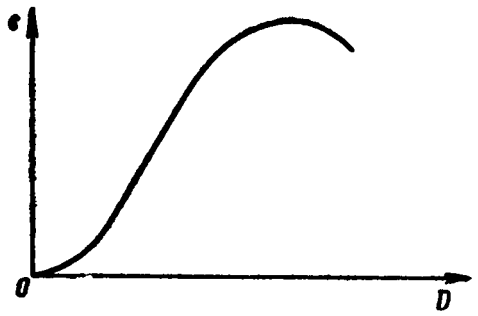


Рис. 24. График зависимости плотности почернения *s* фотослоя от дозы *D*

Используемая для измерения доз пленка, даже будучи помещенной в светонепроницаемую кассету, обладает весьма малыми размерами и весом. Изготовление фоточувствительных слоев несложно, а использование их не связано с применением энергетических источников и сложных электрических схем.

Недостатки фотографического метода: чувствительность фотослоя к свету и необходимость обрабатывать его в полной темноте; сложный процесс определения доз, связанный с химической обработкой фотослоя (проявление, фиксация, неоднократная промывка, сушка) и последующим измерением плотности почернения.

§ 7. Применение кристаллов из диэлектриков и полупроводников для обнаружения ионизирующих излучений

Все валентные электроны, находящиеся в связанном состоянии в составе атомов, образующих кристаллическую решетку, обладают некоторой энергией. В кристаллах диэлектриков и полупроводников максимальная возможная энергия валентных электронов и минимальная возможная энергия свободных электронов разделены некоторым интервалом энергией: большим — для диэлектриков, меньшим — для полупроводников.

Электроны с энергией, большей, чем у валентных, но меньшей, чем у свободных электронов, могут быть в кристаллах лишь тогда, когда в них хотя бы в небольшом количестве имеются посторонние примеси, нарушающие связи между атомами кристаллической решетки. Эти электроны легко могут переходить в свободное состояние. Такому переходу способствует воздействие на кристалл ионизирующих излучений.

При поглощении ионизирующих частиц или квантов из атома кристалла выбиваются валентные электроны с большой энергией.

Эти электроны, проходя через кристалл, затрачивают энергию на отрыв от атомов большого числа других вторичных электронов. Таким образом, в кристалле возникают свободные электроны, которые могут при наличии электрического поля образовывать ток даже в кристалле, обладающем свойствами диэлектрика, и увеличить проводимость, тем самым и ток, в кристалле полупроводника.

В качестве веществ, кристаллы которых могут быть использованы для обнаружения и измерения различных характеристик ионизирующих излучений, используются кристаллы сернистого цинка, серы, алмаза, германия и др. Хорошие результаты дает применение сернистого кадмия; в зависимости от природы и концентрации примесей при температуре около 20° С он может быть и диэлектриком, и полупроводником. Сернистый кадмий применяется как в виде монокристалла, так и в виде тонкой поликристаллической пленки. Монокристаллы наиболее удобны для исследований гамма-излучения, пленки — для исследований альфа- и бета-излучений. Кристаллы имеют размеры $3 \times 5 \times 10$ *мм* и меньше.

На образование свободных электронов в кристаллах расходуется 3—10 *эв*, что позволяет получить больший ток при одной и той же поглощенной энергии и является, следовательно, значительным преимуществом по сравнению с воздухом, где на образование пары ионов затрачивается 34 *эв*. Чувствительность кристаллов — 1—100 *мка/р/ч*, напряжение питания для кристаллов — порядка нескольких десятков вольт, температурная зависимость — в пределах от $\pm 0{,}1$ до $\pm 0{,}3\%$ на 1° С.

Достоинствами описанных кристаллов являются их простота, возможность получения с их помощью токов большой величины, высокая эффективность счета, малые размеры и малая стоимость. Поэтому их целесообразно использовать для изготовления малогабаритных и легких (переносных) приборов, медицинских зондов для определения зараженности ран и других целей, дистанционных систем наблюдения за радиоактивным заражением местности и т. д.

К серьезным недостаткам кристаллов относятся: большая инерционность их (до нескольких минут для установления показаний, соответствующих измеряемой величине), плохая воспроизводимость результатов, изменение чувствительности во времени, зависимость результатов измерений от энергии ионизирующих частиц.

Значительно меньшей инерционностью обладают кремниевые кристаллы с так называемой электронно-дырочной проводимостью. Это обстоятельство в сочетании с высокой чувствительностью, низкими напряжениями питания, малыми габаритами и большой надежностью делает перспективным применение их в дозиметрических приборах различного назначения.

§ 8. Калориметрический метод

Энергия ионизирующих излучений, поглощенная в веществе, в конечном итоге превращается в тепло. Этот тепловой эффект используется в калориметрах для измерения активности вещества или мощности дозы. Для регистрации нейтронных потоков используются термоэлементы, спаи которых покрыты бором.

При калориметрических измерениях объекты, подвергающиеся облучению, должны находиться в термостатах. С помощью термопар и гальванометра определяется изменение температуры этих объектов под воздействием ионизирующих излучений и соответствующее этому изменению температуры количество поглощенного тепла, которое и позволяет судить об измеряемых дозиметрических величинах.

Преимуществом калориметрического метода является то, что он позволяет производить измерения в общеэнергетических единицах, а это облегчает сравнение, анализ, оценку полученных данных и т. п. Этот метод характеризуется высокой точностью.

Недостатки калориметрического метода состоят в том, что калориметры представляют собой громоздкую стационарную аппаратуру и их чувствительность мала.

§ 9. Ионизационный метод

При ионизационном методе обнаружения и измерения различных характеристик ионизирующих излучений в качестве ионизирующей среды используются газы, в которых образующиеся ионы обладают большой подвижностью. Воздействуя на газовую среду электрическим полем, легко привести создаваемые излучением ионы в направленное движение. Возникающий при этом электрический ток является не только указанием на то, что газовая среда облучается, но позволяет также судить об активности источников ионизирующих излучений, о создаваемой ими дозе и мощности дозы излучений.

В измерительной аппаратуре ионизация газовой среды происходит в устройствах, предназначенных для восприятия энергии ионизирующих излучений и преобразования ее в энергию электрического тока. Такие устройства называются воспринимающими или детекторами излучений. К ним относятся ионизационные камеры и газоразрядные счетчики.

Раздел второй

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

Глава I

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

§ 1. Электрический заряд

Электризация объясняется тем, что при трении орбитальные электроны переходят с одного тела на другое. Поскольку в разных веществах связи электронов с ядром различны, при отдалении тел друг от друга в атомах одного из них нехватка электронов будет больше, чем в атомах другого; в результате на одном теле окажется избыточный положительный заряд, а на другом — отрицательный.

Названия «положительный» и «отрицательный» условны. С тем же успехом заряд можно было назвать «черным» или «белым». Эти названия говорят лишь о том, что один электрический заряд отличается от другого, равного ему по величине, своим действием, а именно: одноименные заряды отталкиваются, а разноименные — притягиваются друг к другу.

Электрический заряд существует в виде отдельных порций электричества, заряд, как говорят, квантуется, иными словами, он может принимать только строго определенные значения: 0, $\pm e$, $\pm 2e$, $\pm 3e$ и т. д. (e — заряд электрона).

Любое тело состоит из атомов. Следовательно, в каждом теле имеются электрические заряды, и если оно не проявляет электрических свойств, то только потому, что положительные и отрицательные заряды строго уравновешивают друг друга. Достаточно слегка нарушить это равновесие, как начнут проявляться электрические силы. Они настолько велики, что могут разрушить даже ядро атома, что наблюдается, например, при распаде урана. В обычных условиях электрические силы находятся в таком строгом равновесии, что все тела сохраняют присущую им форму.

Количественную сторону взаимодействия электрических зарядов впервые выяснил французский ученый Огюст Кулон, который в 1785 г., проводя опыты с электрическими зарядами при помощи крутильных весов, установил, что сила взаимодействия между дву-

мя неподвижными зарядами F прямо пропорциональна величине зарядов q_1 и q_2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними:

$$F = K\frac{q_1 q_2}{r^2}. \qquad (45)$$

Коэффициент K зависит от выбора единиц измерения и свойств среды, в которой взаимодействуют заряды.

Опыты показали, что при нахождении зарядов не в вакууме, а в какой-либо другой среде их взаимодействие слабее. Свойства диэлектриков ослаблять действие зарядов описывается относительной диэлектрической проницаемостью среды, т. е. отношением диэлектрической проницаемости среды ε к диэлектрической проницаемости вакуума ε_0:

$$\varepsilon_{\text{отн}} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}.$$

Другими словами, относительная диэлектрическая проницаемость среды есть величина, показывающая, во сколько раз сила взаимодействия между зарядами в данном диэлектрике меньше силы взаимодействия между ними в вакууме.

В физической системе единиц СГС $\varepsilon_0 = 1$ и поэтому

$$K = \frac{1}{\varepsilon}.$$

В международной системе единиц СИ

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_{\text{отн}}},$$

где $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ $к^2/м^2 \cdot н$.

Электрический заряд измеряется: в системе СГС—в электростатических единицах заряда, в системе СИ — в кулонах ($к$). Заряд в один кулон эквивалентен трем миллиардам электростатических единиц заряда, т. е. можно записать: $1\ к = 3 \cdot 10^9$ электростатических единиц заряда.

С помощью тонких и оригинальных опытов удалось измерить заряд электрона, который оказался равным $4{,}8024 \cdot 10^{-10}$ электростатических единиц заряда, или $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ $к$. Отсюда легко подсчитать число электронов N, обладающих суммарным зарядом в одну электростатическую единицу:

$$N = \frac{1}{4{,}8024 \cdot 10^{-10}} = \frac{10 \cdot 10^{9}}{4{,}8024} \approx 2{,}08 \cdot 10^9.$$

Это число указывается в формулировке единицы измерения дозы излучения — рентгена.

Определяя силы по закону Кулона надо иметь в виду, что он справедлив лишь для неподвижных зарядов. Для движущихся за-

рядов закон Кулона перестает выполняться точно, потому что при движении зарядов возникает еще одна составляющая электрических сил, так называемая магнитная сила взаимодействия. Таким образом, находящийся в движении заряд обладает не только электрическим, но и магнитным полем. Это обстоятельство подчеркивает неразрывность электрических и магнитных явлений, указывая на то, что они являются двумя сторонами единого процесса. И лишь для удобства рассмотрения уделяется больше внимания в одних случаях электрическим, в других — только магнитным явлениям.

§ 2. Электрическое поле

Полем называется особый вид материи с определенными силовыми и энергетическими характеристиками. В пространстве, окружающем неподвижный электрический заряд, образуется электрическое поле. На заряды, помещенные в электрическое поле, действуют силы. Следовательно, в электрическом поле осуществляется взаимодействие электрических зарядов.

Изменение характеристик электрического поля происходит не мгновенно во всем поле, а передается от одной его точки к другой с определенной скоростью, не превышающей скорости света в вакууме.

Чтобы обнаружить и измерить электрическое поле, в него вносят пробный электрический заряд. О силе электрического поля судят по его напряженности. Напряженность поля E численно равна силе F, действующей на единицу положительного заряда, внесенного в данную точку поля:

$$E = \frac{F}{q}. \tag{46}$$

Напряженность является векторной величиной; она характеризуется как численным значением, так и направлением. Если напряженность во всех точках поля одинакова, то поле называется однородным. Такое поле образуется между двумя бесконечно большими заряженными плоскостями. В действительности размеры пластин всегда ограничены и поэтому однородность поля не может быть идеальной. Приблизительно однородное поле создается в ионизационной камере рентгенметра ДП-2, а также в плоских конденсаторах. В газоразрядных счетчиках специально создаются неоднородные поля.

Однородные и неоднородные поля можно представить графически, изобразив их при помощи электрических силовых линий. В общем случае силовой линией называют кривую, касательная к которой в любой точке совпадает с направлением вектора напряженности. В частном случае, например для точечного заряда, силовая линия представляет прямую, совпадающую с вектором напряженности (рис. 25).

Принято считать, что силовые линии начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных, нигде не пересекаясь между собой. Тогда однородное поле в ионизационной камере рентгенметра ДП-2 будет иметь приблизительно такой вид, как показано на рис. 26.

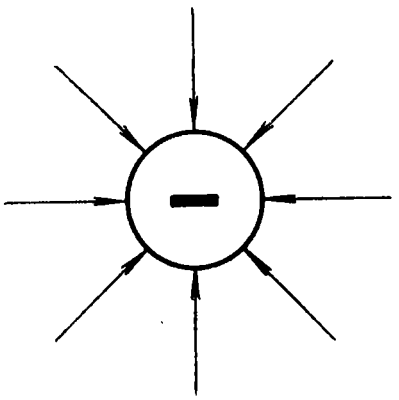


Рис. 25. Электрическое поле отрицательного точечного заряда

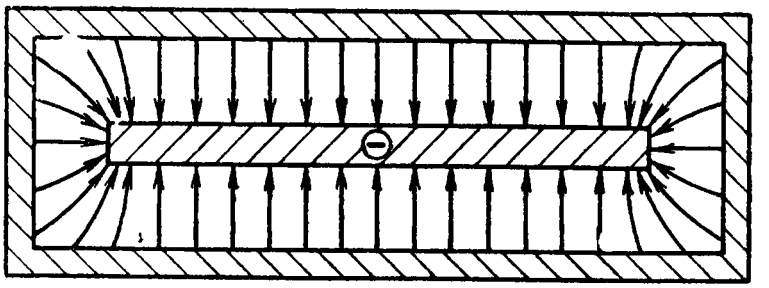


Рис. 26. Электрическое поле ионизационной камеры рентгенметра ДП-2

Для получения неоднородного поля, например, в газоразрядном счетчике используют коаксиальные цилиндры: один цилиндр проложен концентрически внутри другого (рис. 27). При такой конструкции напряженность поля для любой точки пространства внутри счетчика может быть найдена по формуле

$$E = \frac{2\tau}{\varepsilon r} \cdot \frac{\bar{r}}{r}, \qquad (47)$$

где τ — линейная плотность зарядов;

$\bar{r}$ — радиус — вектор кратчайшего расстояния от оси цилиндра до рассматриваемой точки поля.

Картина поля позволяет представить и движение в нем заряженных частиц, так как заряд, не обладающий начальной скоростью, движется в поле строго по силовой линии.

Для внесения пробного заряда в поле требуется затрата определенной работы на преодоление отталкивающего действия поля. Затрачиваемая работа будет мерой той потенциальной энергии, которую приобрел пробный заряд при внесении его в электрическое поле.

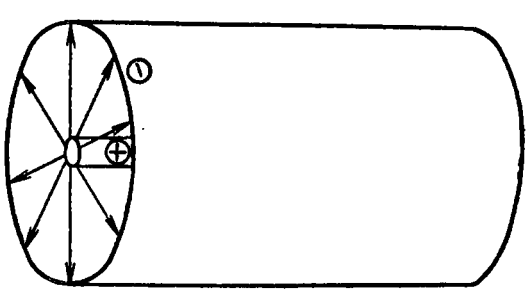


Рис. 27. Неоднородное электрическое поле газоразрядного счетчика

В большинстве точек поля запас потенциальной энергии различен. Для характеристики поля в энергетическом отношении вводится понятие потенциала. Потенциал численно равен работе, которую совершает поле при перемещении единичного положительного заряда из данной

точки поля в другую точку, потенциал которой условно принимается за нуль.

В практике часто надо знать не абсолютную величину потенциала, а разность потенциалов двух точек поля.

Рассмотрим область однородного поля (рис. 28), куда вносится пробный заряд. Потенциал первой точки φ_1 равен работе A_1, а потенциал второй точки φ_2 равен работе A_2:

$$\varphi_1 = A_1 = Er_1;$$
$$\varphi_2 = A_2 = Er_2.$$

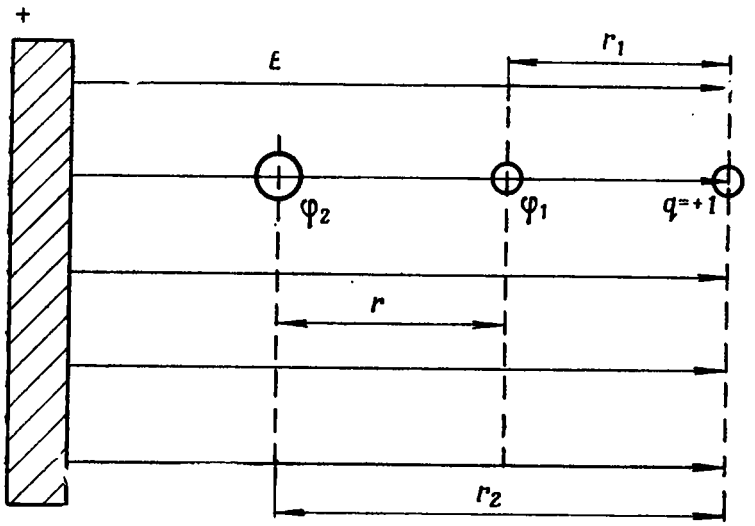


Рис. 28. Работа по перемещению единицы положительного заряда в электрическом поле

Если из φ_2 вычесть φ_1, то получится разность потенциалов двух точек поля:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = A_2 - A_1 = E(r_2 - r_1) = Er = A, \qquad (48)$$

численно равная работе, необходимой для перемещения пробного заряда из одной точки поля в другую.

Разность потенциалов двух точек поля называют напряжением и обозначают буквой U.

При переносе заряда, величина которого отличается от единичного в q раз, работа, затраченная на его перенос, будет также в q раз больше, т. е.

$$A = q(\varphi_2 - \varphi_1) = qU. \qquad (49)$$

Напряжение в системе СИ измеряется в вольтах ($в$). Вольт — это такая разность потенциалов двух точек, при которой для переноса одного кулона электричества из одной точки поля в другую затрачивается работа в один джоуль.

Следовательно, напряжения в одной точке поля быть не может.

Любую из двух можно принять за точку с нулевым потенциалом, так как это не изменяет величин разности потенциалов. К это-

му часто прибегают, принимая, например, потенциал корпуса прибора за нуль, а потенциалы всех других точек схемы, отсчитывая относительно корпуса.

§ 3. Электростатическая индукция

Обнаружить наличие электрических зарядов можно с помощью простого прибора — электроскопа, представляющего собой металлический стержень с прикрепленными на его конце листиками бумаги или тонкой фольги. При соприкосновении электроскопа с заряженным телом листочки заряжаются одноименными зарядами и, отталкиваясь друг от друга, расходятся на некоторый угол.

Если заряженное тело только подносить к стержню электроскопа, не касаясь его, лепестки последнего расходятся, что указывает на электризацию стержня. Электризация незаряженного проводника во внешнем электрическом поле называется электростатической индукцией. Электризация проводника объясняется концентрацией свободных электронов на одном из концов стержня. При удалении заряженного тела электроны в проводнике распределяются опять равномерно и электризация исчезает.

Если в тот момент, когда проводник наэлектризован, отвести скопившиеся на его конце электроны, то вследствие избытка в нем положительных зарядов он останется наэлектризованным и после удаления заряженного тела.

§ 4. Электрическая емкость

При сообщении одинакового заряда проводникам с различной формой и размерами потенциалы их окажутся различными. При этом очевидно, что чем больше зарядов накопится на данном проводнике, тем выше будет его потенциал. Для характеристики этого свойства проводника вводится понятие электрической емкости. За емкость C уединенного проводника принимается коэффициент пропорциональности между потенциалом проводника φ и сообщенным проводнику зарядом q:

$$q = C\varphi. \tag{50}$$

Отсюда

$$C = \frac{q}{\varphi}. \tag{51}$$

В системе единиц СИ электрическая емкость измеряется в фарадах ($ф$). Емкость в 1 $ф$ равна емкости такого тела, потенциал которого возрастает на 1 $в$ при накоплении на нем заряда в 1 $к$.

Фараду не всегда удобно использовать из-за большой величины, поэтому в практике преимущественно пользуются дольными частями этой единицы:

$$1 \text{ микрофарада } (мкф) = 10^{-6}\ ф;$$

$$1 \text{ пикофарада } (пф) = 10^{-6}\ мкф = 10^{-12}\ ф.$$

Для создания необходимых емкостей в электрических схемах применяют специальные приборы, получившие название электрических конденсаторов. Любой конденсатор представляет собой два проводника, разделенных диэлектриком. Принцип действия конденсатора основан на явлении электростатической индукции.

Глава II

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

§ 1. Физическая природа электрического тока

Если направленное движение электронов и ионов возникает под действием электрического поля внутри неподвижного проводника, то такой ток называется током проводимости; направленное движение зарядов, образуемое перемещением самого тела, на котором находятся заряды, получило название конвекционного тока; упорядоченное движение электронов и ионов в вакууме называется током в вакууме.

Согласно электронной теории проводимости носителями электрических зарядов в металлах являются свободные электроны. Электрон будет называться свободным в случае, когда он перестал принадлежать определенному атому. Благодаря сравнительно большому удалению от ядра атома связь валентного электрона с ядром настолько мала, что под действием незначительной внешней силы он покидает атом и начинает двигаться в межатомном пространстве. Правда, очень скоро, пройдя около 10^{-8} *см*, он захватывается другим атомом и перестает быть свободным. Но на смену электрону, превратившемуся в связанный, выбивается электрон из другого атома. Таким образом, в металле всегда имеется большое количество свободных электронов. При комнатной температуре число их в 1 $см^3$ металла достигает 10^{22}—10^{23}.

Когда электрического поля нет, свободные электроны движутся хаотично (рис. 29, *а*), со средней скоростью около 1000 *м/сек*. При воздействии поля к каждому электрону прикладывается постоянная сила F, в результате чего уменьшается беспорядочность их движения и они начинают дрейфовать в одну сторону со скоростью

десятых долей миллиметра в секунду. Дрейф электронов выражает собой электрический ток в металлическом проводнике.

Если мысленно рассечь проводник поперечной плоскостью, то при отсутствии поля число электронов, прошедших за единицу времени через сечение справа налево, равно числу электронов, переместившихся слева направо. При воздействии поля через сечение справа налево перейдет (рис. 29, *б*) больше электронов, чем обратно. Чем больше напряженность электрического поля, тем более упорядоченным будет движение свободных электронов, тем выше средняя скорость их направленного движения, тем интенсивнее электрический ток. Итак, электрическим током называется упорядоченное движение свободных заряженных частиц под воздействием электрического поля.

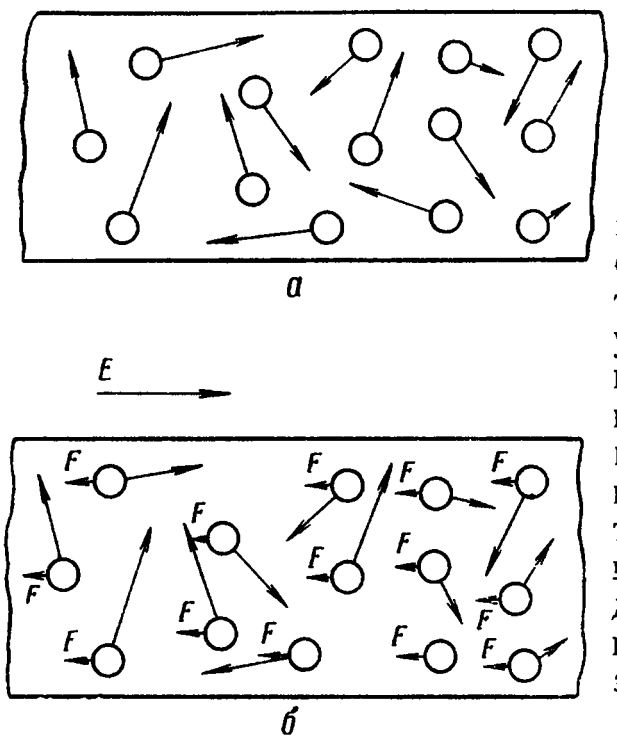


Рис. 29. Движение свободных электронов:
а — в отсутствие электрического поля; *б* — при воздействии электрического поля

Электрический ток характеризуется направлением и силой. По традиции считается, что ток протекает от положительного зажима источника через потребитель к отрицательному. Этого правила придерживаются и при рассмотрении жидкостных проводников, хотя в электролитах имеет место направленное движение и отрицательных, и положительных ионов, точно так же, как в газах упорядоченно движутся электроны и положительные ионы.

В полупроводниках может возникать под действием электрического поля так называемый дырочный ток, представляющий собой направленное движение специфических для полупроводника образований, называемых «дырками».

§ 2. Сила тока

Интенсивность электрического тока характеризуется его силой. Силой тока называется количество электричества q, проходящее через поперечное сечение проводника в единицу времени t:

$$I = \frac{q}{t}. \qquad (52)$$

В системе единиц СИ сила тока измеряется в амперах ($а$). Ампер — это такая сила тока, при которой через поперечное сече-

ние проводника каждую секунду проходит один кулон электричества. В электронике часто пользуются дольными частями ампера:

$$1 \text{ миллиампер } (ма) = 10^{-3}\ а;$$

$$1 \text{ микроампер } (мка) = 10^{-3}\ ма = 10^{-6}\ а.$$

§ 3. Электрическое сопротивление

Совершая направленное движение в проводнике, электрические заряды испытывают тормозящее действие со стороны заряженных частиц вещества, что затрудняет их продвижение. Противодействие со стороны проводника движущимся через него зарядом называется электрическим сопротивлением. Сопротивление обозначается буквами R или r и измеряется в омах. В практике часто используют величины, кратные этой единице:

$$1 \text{ килоом } (ком) = 10^{3}\ ом;$$

$$1 \text{ мегаом } (Мом) = 10^{3}\ ком = 10^{6}\ ом;$$

$$1 \text{ гигаом } (Гом) = 10^{3}\ Мом = 10^{6}\ ком = 10^{9}\ ом.$$

Чем длиннее проводник, тем с большим числом частиц вещества придется взаимодействовать зарядам на пути движения и тем больше сопротивление проводника. С другой стороны, через большее поперечное сечение будет дрейфовать (при той же напряженности электрического поля) большее количество зарядов. Это равнозначно тому, что противодействие проводника движению через него зарядов уменьшится. Кроме того, сопротивление проводника зависит от структуры вещества. Все сказанное выражается формулой

$$R = \rho \frac{l}{S}, \tag{53}$$

где R — сопротивление проводника, *ом*;
l — длина проводника, *м*;
S — площадь поперечного сечения, *мм*^{2};
ρ — удельное сопротивление материала, *ом · мм*^{2}*/м*.

Удельным сопротивлением ρ называется сопротивление проводника длиной в 1 *м* и площадью поперечного сечения в 1 *мм*^{2} при температуре 20° С. Значения удельного сопротивления различных материалов приводятся в справочниках.

Температура в приведенной формулировке отмечена в связи с тем, что она оказывает существенное влияние на сопротивление. При возрастании температуры металлических проводников увеличивается колебательное движение молекул, что ведет к возрастанию вероятности встречи свободных электронов с другими частицами вещества и, следовательно, к увеличению его электрического сопротивления. С увеличением температуры электролитов возра-

стает диссоциация их молекул и увеличивается количество ионов, в результате сопротивление электролитов снижается.

Изменение сопротивления определяется по формуле

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)], \tag{54}$$

где R_2 — конечное сопротивление проводника (при температуре t_2);

R_1 — начальное сопротивление проводника (при температуре t_1);

α — температурный коэффициент сопротивления, физический смысл которого в том, что он показывает, на сколько изменяется сопротивление проводника, отнесенное к одному ому, при изменении его температуры на один градус. Для меди, алюминия и железа можно принять $\alpha = 0{,}004$.

§ 4. Электродвижущая сила и напряжение

Направленное движение зарядов, преодолевающих противодействие проводника, происходит за счет энергии источника тока. Полная энергия, которую затрачивает источник на перемещение зарядов по всей замкнутой электрической цепи, называется электродвижущей силой (э. д. с.).

С физической точки зрения э. д. с. есть разница в количестве свободных электронов на полюсах источника тока или, что то же самое, разность потенциалов на зажимах источника. Возникает и поддерживается э. д. с. за счет физико-химических процессов, протекающих в источнике при его работе; измеряется она в вольтах.

Большая часть энергии источника расходуется на продвижение зарядов по потребителям и соединительным проводам. Эта часть э. д. с. получила название напряжения. Часть э. д. с., расходуемая на движение зарядов внутри самого источника тока, называется внутренним падением напряжения.

Электродвижущая сила

$$E = U + \Delta U, \tag{55}$$

где U — напряжение;

ΔU — внутреннее падение напряжения.

§ 5. Закон Ома

Между силой тока, э. д. с. и сопротивлением существует простое соотношение, впервые сформулированное Омом, и потому называемое его именем:

$$I = \frac{E}{R + r}, \tag{56}$$

где I — сила тока, *а*;

E — э. д. с., *в*;

R — сопротивление потребителей и соединительных проводов, *ом*;

r — сопротивление внутри источника тока, *ом*.

Переписав формулу (56) в виде

$$E = IR + Ir \tag{57}$$

и сравнив ее с формулой (55), можно сделать вывод о том, что напряжение на зажимах источника тока

$$U = IR, \tag{58}$$

а внутреннее падение напряжения

$$\Delta U = Ir. \tag{59}$$

Формула (58) справедлива для любого участка цепи. Выражаемое ею соотношение получило название закона Ома для участка цепи. Из данной формулы можно подсчитать значение одной величины, если известны значения двух других, относящихся к этому же участку цепи:

$$I = \frac{U}{R}; \tag{60}$$

$$R = \frac{U}{I}. \tag{61}$$

Часть напряжения, которая тратится на движение зарядов по участку цепи, называется падением напряжения на участке $U_{уч}$:

$$U_{уч} = I_{уч} R_{уч}. \tag{62}$$

§ 6. Электрическая цепь

В электрическую цепь обычно входят следующие основные элементы:

— источник электрической энергии (генератор, гальванический элемент и т. д.);

— потребители (лампы, газоразрядные счетчики, нагревательные элементы и т. п.);

— соединительные провода;

— измерительные приборы (вольтметры, микроамперметры и т. д.);

— коммутирующие и вспомогательные приборы (переключатели, тумблеры, предохранители и т. п.).

Часть цепи, относящуюся к источнику тока, называют внутренней (обмотка якоря генератора, коллектор, щетки, пластины аккумулятора, электролит, выводы источника тока). Потребители, измерительные и вспомогательные приборы, соединительные провода составляют внешнюю часть цепи.

Ток в цепи будет проходить тогда, когда одновременно выполняются два условия: имеется источник тока, обладающий э. д. с., и сама электрическая цепь замкнута.

Когда цепь замкнута, электрические заряды дрейфуют по одному проводу от источника к потребителю, проходят через него и по другому проводу перемещаются от потребителя к источнику тока. Часто вместо второго провода используется металлический корпус прибора или машины, что экономит провода и упрощает схему. Такая электрическая цепь называется однопроводной.

Если необходимо подключить несколько потребителей к одному источнику тока, то их включают относительно друг друга последовательно, параллельно или смешанно.

Последовательным соединением потребителей называется такое, когда для тока имеется лишь один путь (рис. 30). В этом случае заряды вынуждены преодолеть противодействие как первого, так и второго потребителя. Поэтому общее противодействие будет равно сумме противодействий отдельных участков цепи

$$R_{общ} = R_1 + R_2. \qquad (63)$$

Не имея другого пути движения, все заряды, прошедшие через один участок, должны пройти и через другой. Таким образом, количество электричества, проходящего через любое сечение цепи в единицу времени, одинаково, а сила тока в любом сечении цепи одна и та же.

Падение напряжения на первом участке выразится отношением $U_1 = iR_1$, а на втором участке — отношением $U_2 = iR_2$. Сложив эти значения, получим

$$U_1 + U_2 = iR_1 + iR_2 = i(R_1 + R_2) = iR_{общ} = U_{ист}. \qquad (64)$$

Следовательно, сумма падений напряжения на участках равна напряжению на зажимах источника тока. Напряжение источника распределяется по участкам цепи прямо пропорционально сопротивлениям участков. Это свойство последовательного соединения используется на практике, в частности в делителях напряжения.

При параллельном соединении потребителей ток может двигаться несколькими путями. Из рис. 31 видно, что напряжение на потребителях одинаково, так как они подключены к одним и тем же точкам. При одинаковых напряжениях и различных

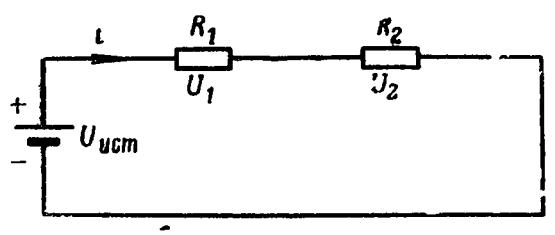


Рис. 30. Схема последовательного соединения потребителей

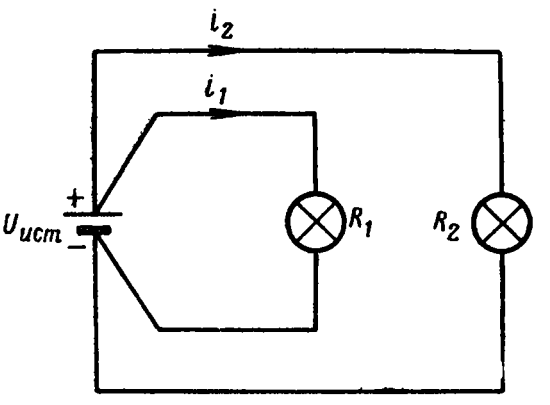


Рис. 31. Схема параллельного соединения потребителей

сопротивлениях сила тока распределится по потребителям обратно пропорционально их сопротивлениям:

$$i_1 = \frac{U}{R_1}; \qquad i_2 = \frac{U}{R_2}; \qquad \frac{i_1}{i_2} = \frac{R_2}{R_1}. \tag{65}$$

Общая сила тока равна сумме токов потребителей:

$$i_{общ} = i_1 + i_2. \tag{66}$$

При увеличении числа параллельно включенных потребителей фактически увеличивается площадь поперечного сечения проводников, что эквивалентно уменьшению сопротивления или, другими словами, увеличению проводимости. Проводимость — величина обратная сопротивлению:

$$G = \frac{1}{R}.$$

Общая проводимость параллельно соединенных потребителей равна сумме их проводимостей:

$$G_{общ} = G_1 + G_2 \tag{67}$$

или

$$\frac{1}{R_{общ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \tag{68}$$

что легко вывести из соотношения (66), воспользовавшись выражением (60).

При смешанном соединении часть потребителей включается параллельно, а часть последовательно (рис. 32). Чтобы определить общее сопротивление смешанного соединения потребителей, его сводят к последовательному соединению путем замены параллельно соединенных потребителей их эквивалентным сопротивлением. Например, для схемы, приведенной на рис. 32

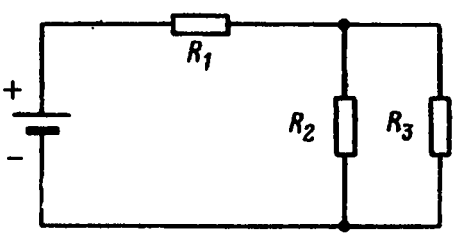


Рис. 32. Схема смешанного соединения потребителей

$$R_{общ} = R_1 + R_{экв};$$

$$R_{экв} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}.$$

Электрическая цепь может работать в одном из трех режимов: в эксплуатационном, при котором $U_{ист} = E - Ir$, а $I = \frac{U}{R}$; в режиме холостого тока, когда $R = \infty$, $I = 0$ и $U_{ист} = E$; в режиме короткого замыкания, когда $R = 0$, $U_{ист} = 0$ и $I = \frac{E}{r}$.

Режим короткого замыкания — это аварийный режим, поскольку сила тока в цепи может превышать номинальную силу тока в десятки раз. Это приводит к оплавлению проводов и выходу источников тока из строя вследствие перегрузки. Для защиты цепей от вредных последствий короткого замыкания используют плавкие предохранители, максимальные реле и термопредохранители.

§ 7. Работа и мощность электрического тока

Электрические заряды, преодолевая противодействие проводника, увеличивают тепловое движение молекул вещества. Поэтому когда ток проходит по проводнику, в нем выделяется тепло. Энергия источника тока расходуется также на образование магнитного поля вокруг проводника с током.

Если проводник с током неподвижен, а сила тока постоянна, вся электроэнергия переходит в тепло. При движении проводника часть электроэнергии преобразуется в механическую.

Количество энергии измеряется величиной работы. Известно, что для переноса заряда q по проводнику затрачивается работа $A = qU$. Поскольку $q = It$, то

$$A = IUt, \tag{69}$$

где A — работа, *дж*;
I — сила тока, *а*;
U — напряжение на участке, *в*;
t — время прохождения тока, *сек*.

Работа, совершаемая током в одну секунду, называется мощностью:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{IUt}{t} = IU, \tag{70}$$

где P — мощность тока, *дж/сек* или *вт*;
I — сила тока, *а*;
U — напряжение, *в*.

Единицей измерения мощности тока служит ватт. Ватт — это мощность тока, который за 1 *сек* совершает работу в 1 *дж*.

В практике для измерения электрической мощности часто используют величину, кратную единице ватт — 1 киловатт (*квт*) = $= 10^3$ *вт*, а также величину, дольную единице ватт, — 1 милливатт (*мвт*) $= 10^{-3}$ *вт*.

В случае перехода электрической энергии в тепло количество выделившегося тепла Q пропорционально работе:

$$Q = A.$$

Выражение (70) можно переписать таким образом:

$$A = IUt = I \cdot IRt = I^2Rt;$$

Тогда

$$Q \equiv A \equiv I^2Rt = KI^2Rt, \tag{71}$$

где K — тепловой эквивалент работы (0,24), означающий, что один джоуль электроэнергии эквивалентен 0,24 калории.

Зависимость $Q = 0{,}24\ I^2Rt$ известна как выражение закона Джоуля — Ленца.

§ 8. Виды токов

В цепях дозиметрических приборов при работе протекают различные токи: постоянный, переменный, пульсирующий, импульсный.

Ток, величина и направление которого в течение длительного времени неизменны, называются постоянным (рис. 33). Источниками постоянного тока являются аккумуляторы, гальванические элементы, генераторы и др.

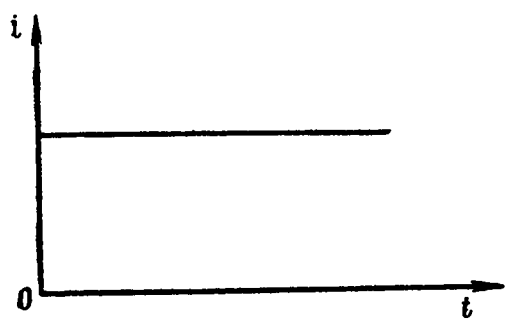


Рис. 33. График постоянного тока

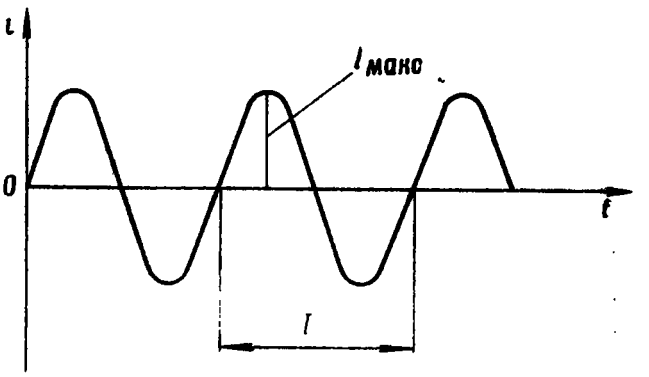


Рис. 34. График переменного синусоидального тока

Ток, величина и направление, которого периодически изменяются, называется переменным (рис. 34). Наибольшее применение нашел синусоидальный переменный ток, напряжение и сила которого изменяются по закону синуса:

$$i = I_{макс} \cdot \sin \omega t, \tag{72}$$

где i — мгновенное значение тока;

$I_{макс}$ — амплитудное значение тока;

ω — угловая частота, равная $2\pi\nu$ (ν — частота);

t — время, прошедшее с начала отсчета.

Периодом T называют время одного полного изменения тока; частотой ν — число полных циклов изменения тока в 1 *сек* (измеряется в герцах). Герц (*гц*) — это частота, при которой за 1 *сек* происходит одно полное изменение тока. В практике для выражения частоты используют величины, кратные единице частоты:

$$1 \text{ килогерц } (кгц) = 10^3\ гц;$$

$$1 \text{ мегагерц } (Мгц) = 10^3\ кгц = 10^6\ гц.$$

Частота и период — обратные величины: $\nu T = 1$.

Ток, протекающий в одном направлении, но периодически меняющий величину, называется пульсирующим (рис. 35). Обычно он создается на выходе ламповых и полупроводниковых выпрямителей.

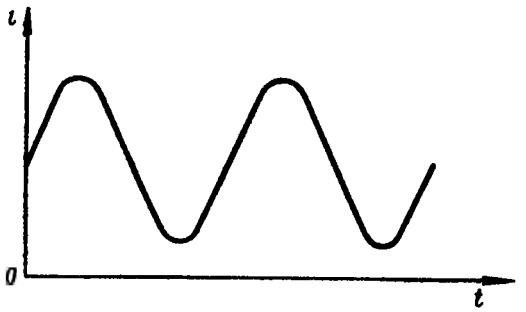


Рис. 35. График пульсирующего тока

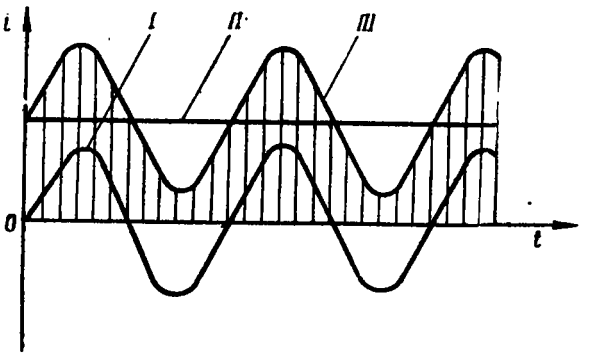


Рис. 36. Графическое сложение переменного и постоянного токов:

I — график переменного тока; II — график постоянного тока; III — график пульсирующего тока

Очень важно, что пульсирующий ток складывается из двух составляющих: постоянной и переменной (рис. 36). При сложении ординат переменного и постоянного токов, соответствующих одной и той же абсциссе, получается график пульсирующего тока. Следовательно, любой пульсирующий ток можно разложить на постоянный и переменный токи. Делается это с помощью электрического фильтра, состоящего из конденсатора и дросселя.

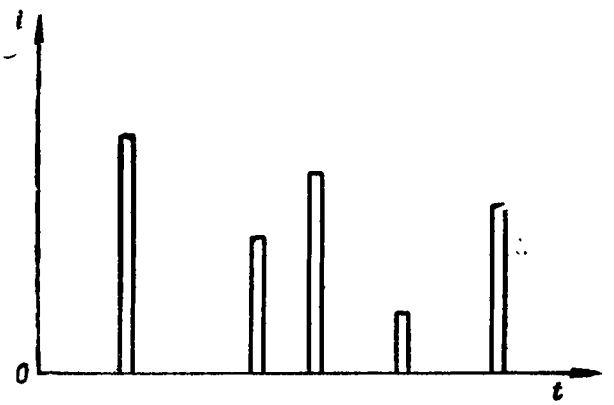


Рис. 37.

Ток, резко меняющий свою величину так, что время отсутствия его в цепи превышает длительность его прохождения, называется импульсным (рис. 37). Такой ток возникает в цепях газоразрядных счетчиков, а также в специальных схемах, используемых в дозиметрических приборах.

Импульсный ток характеризуется величиной, длительностью, формой (прямоугольной, треугольной, трапецеидальной, колоколообразной и т. д.) и частотой следования, т. е. числом импульсов в единицу времени. Аналогично пульсирующему импульсный ток имеет несколько составляющих и поэтому может быть разложен на постоянный и переменные токи.

Глава III

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 1. Магнетизм

Некоторые тела притягивают к себе стальные предметы. Это явление называется магнетизмом, а сами тела — магнитами. Магнитное действие особенно сильно проявляется на концах такого тела — полюсах. Так как полюсы различны по своему действию, а именно: одноименные отталкиваются, а разноименные притягиваются, то потребовалось их по разному назвать. Один полюс назвали северным, потому что свободно подвешенный магнит поворачивается этим концом к географическому северному полюсу, а другой — южным.

В природе встречаются естественные магниты, например магнитный железняк Fe_2O_3. Однако практически их не используют ввиду слабого действия. В технике широко используются искусственные постоянные магниты.

Физическая природа магнетизма получила сравнительно простое истолкование с появлением в начале XX века электронной теории, согласно которой электроны при своем движении вокруг ядра атома, а также вокруг собственной оси создают магнитное поле. Если под действием внешней силы магнитные поля ориентируются в одном направлении, то, суммируясь, они создадут достаточно сильное магнитное поле. В действительности же процесс намагничивания сложнее. Как показали работы советских физиков, при намагничивании ориентируются в определенных направлениях целые области вещества, так называемые домены, насчитывающие многие миллионы атомов.

Магнитные силы взаимодействия движущихся зарядов передаются через окружающее их пространство, которое называется магнитным полем.

Для наглядности магнитное поле изображают аналогично электрическому полю при помощи магнитных силовых линий. Магнитной силовой линией называется кривая, касательная к любой точке которой показывает направление силы магнитного поля. Условились считать, что магнитные силовые линии выходят из северного полюса и входят в южный, нигде не пересекаясь и не разрываясь. С их помощью показывают не только направление, но и величину поля, располагая

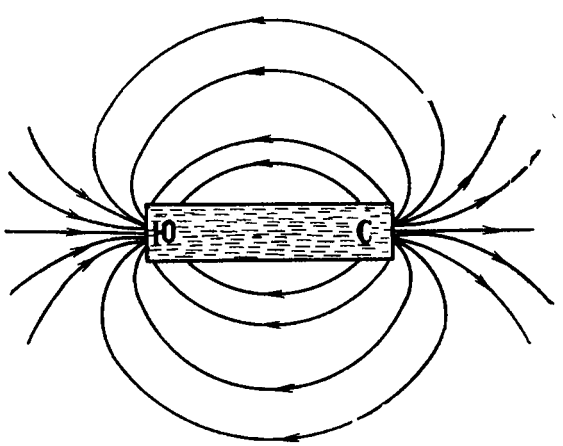


Рис. 38. Магнитное поле прямоугольного постояиного магнита

силовые линии гуще там, где поле сильнее, и реже — где оно слабее. В качестве примера на рис. 38 изображено с помощью силовых линий поле прямоугольного постоянного магнита.

По аналогии с напряженностью электрического поля силовую характеристику магнитного поля условились называть напряженностью магнитного поля (H).

В системе единиц СГС напряженность магнитного поля измеряется в эрстедах ($э$), в системе СИ — в амперах на метр ($а/м$).

$$1\ э = \frac{10^3}{4\pi}\ а/м.$$

Если внести в магнитное поле какое-либо тело, напряженность поля изменится, поскольку под действием поля в теле произойдет в той или иной степени ориентации элементарных магнитных полей электронов. Результирующее поле в зависимости от направления ориентации плоскостей орбит электронов будет равно сумме или разности двух полей. Это явление называется магнитной индукцией (B).

Между магнитной индукцией и напряженностью поля существует зависимость:

$$B = \mu H,$$

где μ — магнитная проницаемость среды.

Магнитная проницаемость характеризует способность различных веществ к ориентированию электронных орбит атомов под действием сил магнитного поля или, иначе говоря, показывает, во сколько раз результирующее поле в намагниченной среде сильнее или слабее магнитного поля в вакууме. Магнитная проницаемость вакуума принимается равной единице.

Если $\mu < 1$, то тела называются диамагнитными. К ним относятся медь, серебро, сурьма и др. При $\mu > 1$ тела называются парамагнитными (алюминий, олово, платина и др.). Среди парамагнитных тел железо, никель, кобальт имеют очень большую магнитную проницаемость, порядка нескольких тысяч; они получили название ферромагнитных тел.

В системе единиц СГС магнитная индукция измеряется в гауссах ($гс$), в системе СИ — в теслах ($тс$).

$$1\ гс = 10^{-4}\ тс.$$

Магнитной индукцией можно назвать плотность магнитного потока в данной области магнитного поля. Если магнитный поток равномерный, то

$$B = \frac{\Phi}{S}, \qquad (73)$$

где B — магнитная индукция, $тс$;

Φ — магнитный поток, *вб*;

S — площадь поверхности, расположенной перпендикулярно к линиям магнитной индукции, $м^2$.

Таким образом, магнитный поток характеризует общую силу всего магнитного поля. Из формулы (73) следует, что

$$\Phi = BS.$$

В системе единиц СГС магнитный поток измеряется в максвеллах (*мкс*), в системе СИ — в веберах (*вб*).

$$1\ мкс = 10^{-8}\ вб.$$

§ 2. Электромагнетизм

В случае направленного движения электрических зарядов их магнитные поля складываются и около проводника с током образуется суммарное результирующее поле.

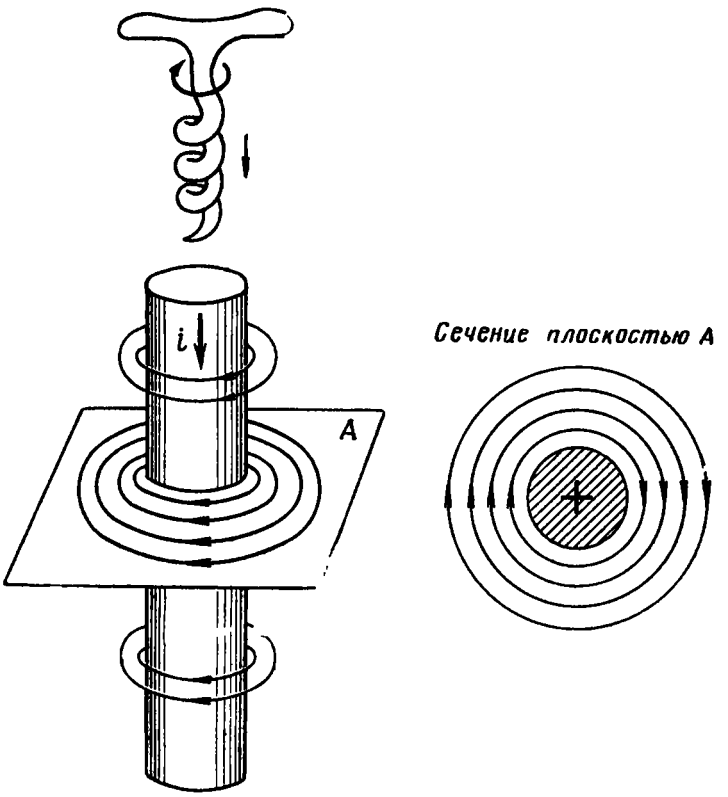


Рис. 39. Магнитное поле прямолинейного проводника с током

Для прямолинейного проводника магнитное поле изобразится в виде концентрически расположенных магнитных силовых линий (рис. 39), направление которых определяется по правилу буравчика. Напряженность поля определяется по формуле

$$H = \frac{i}{2\pi r}, \qquad (74)$$

где H — напряженность магнитного поля, *а/м*;
i — сила тока в проводнике, *а*;
r — кратчайшее расстояние от данной точки поля до оси проводника, *м*.

Если прямолинейный проводник согнуть в кольцо, окружающее его магнитное поле также изогнется и примет форму тороида. Поперечный разрез кольцевого проводника с током, изображенный на рис. 40, показывает, что магнитный поток внутри кольцевого проводника направлен справа налево, т. е. левая плоскость кольца проявляет себя как северный полюс, а правая — как южный. Следовательно, кольцевой проводник с током подобен магниту.

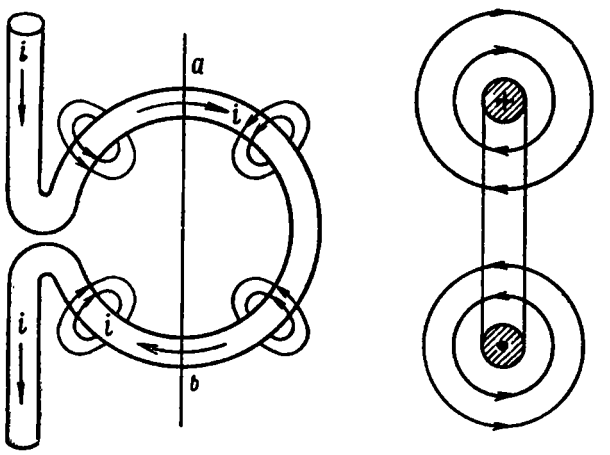


Рис. 40. Магнитное поле кольцевого проводника с током

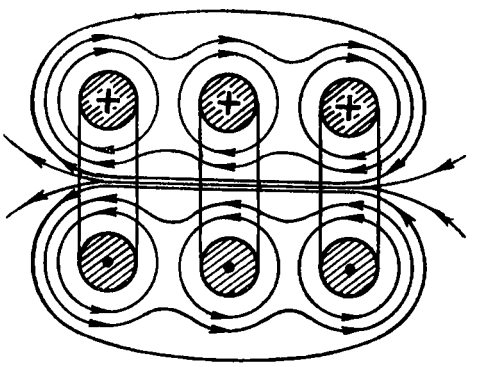


Рис. 41. Магнитное поле соленоида

Напряженность магнитного поля в центре витка равна

$$H = \frac{i}{2R}, \tag{75}$$

где H — напряженность поля в центре кругового тока, *а/м*;
$\imath$ — сила тока в кольцевом проводнике, *а*;
R — радиус витка, *м*.

Если несколько витков расположить рядом и создать в них одинаковое направление тока (рис. 41), то магнитные поля витков сложатся и получится суммарное результирующее поле. Такая система называется **соленоидом** и образуется обычной катушкой, длина которой значительно больше диаметра витков.

Напряженность магнитного поля внутри соленоида определяется по формуле

$$H = \frac{iw}{l}, \tag{76}$$

где H — напряженность поля по оси соленоида, *а/м*;
i — сила тока в соленоиде, *а*;
w — число витков соленоида;
l — длина соленоида, *м*.

Произведение силы тока на витки iw называют магнитодвижущей силой. Таким образом, магнитный поток соленоида пропорционален магнитодвижущей силе:

$$\Phi \equiv iw.$$

Направление магнитного потока соленоида часто определяют по правилу правой руки: если ее положить ладонью на соленоид так, чтобы четыре сложенные вместе пальца были направлены по току, то отогнутый в сторону большой палец укажет северный полюс соленоида.

Для увеличения магнитного потока соленоида при сохранении постоянства магнитодвижущей силы внутрь вставляется сердечник из ферромагнитного материала (обычно мягкой стали). При этом

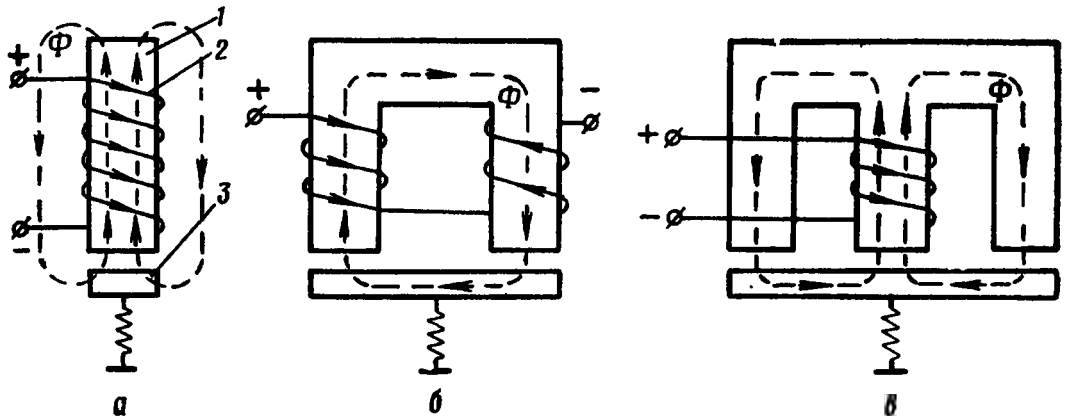


Рис. 42. Формы сердечника электромагнитов:
а — стержневой; *б* — подковообразный; *в* — Ш-образный
1 — сердечник; *2* — обмотка; *3* — якорь

сердечник намагничивается полем соленоида и суммарный магнитный поток будет превышать первоначальный в тысячи раз. Соленоид со стальным сердечником называется электромагнитом. В зависимости от формы сердечника электромагниты подразделяют на стержневые (рис. 42, *а*), подковообразные (рис. 42, *б*) и Ш-образные (рис. 42, *в*).

Подъемная сила электромагнита, т. е. сила, с которой он удерживает притянутый к сердечнику якорь, определяется по формуле

$$F = \frac{B^2 S \cdot 10^7}{8\pi}, \qquad (77)$$

где F — подъемная сила электромагнита, *н*;
B — магнитная индукция, *тс*;
S — площадь касания якоря к сердечнику, $м^2$.

Из формулы (77) видно, что наибольшей подъемной силой при равных габаритах и одинаковой магнитодвижущей силе обладает электромагнит с Ш-образным сердечником, у которого площадь прилипания якоря к сердечнику наибольшая.

Электромагниты широко используются для создания сильных магнитных потоков в генераторах и электродвигателях.

К достоинствам электромагнита относится то, что он позволяет изменять величину магнитного потока, а следовательно, подъемную силу путем регулирования силы тока в обмотке. Это свойство лежит в основе работы всех электромагнитных реле.

Устройство, включаемое маломощным импульсом и приводящее в работу за счет энергии местного источника более мощный меха-

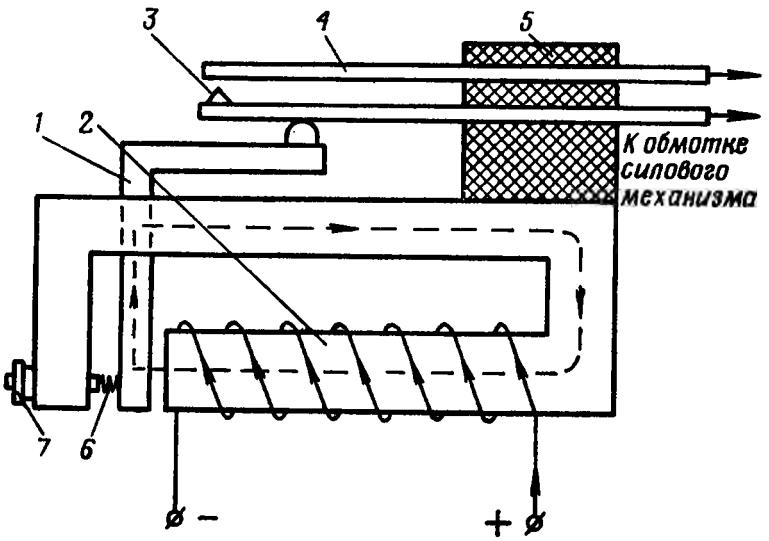


Рис. 43. Устройство электрического реле:
1 — якорь; *2* — сердечник; *3* — подвижный контакт; *4* — неподвижный контакт; *5* — изоляционная колодка; *6* — пружина; *7* — регулировочный винт

низм, называется реле. Электрическое реле представляет собой электромагнит, с якорем которого связаны одна или несколько пар контактов (рис. 43).

В зависимости от цепей коммутации в обесточенном реле контакты могут быть в замкнутом или разомкнутом состоянии. В первом случае реле называется с нормально замкнутыми, а во втором — с нормально разомкнутыми контактами.

§ 3. Электромагнитная индукция

Взаимная связь электрических и магнитных явлений получила название электромагнитной индукции.

Явление электромагнитной индукции состоит в том, что в проводнике возникает электродвижущая сила всякий раз, когда происходит изменение величины магнитного потока, связанного с проводником. Магнитный поток будет изменяться, если проводник движется в магнитном поле или перемещается магнитное поле относительно неподвижного проводника, или изменяется сила тока, протекающая по расположенному рядом проводнику.

По закону Ленца индуктированная э. д. с. всегда направлена так, чтобы противодействовать причине, ее породившей. Величина

ее E равна скорости изменения магнитного потока, связанного с данным проводником:

$$E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \tag{78}$$

где $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ — изменение величины магнитного потока за время $\Delta t = t_2 - t_1$.

Знак минус в формуле учитывает направление э. д. с. по закону Ленца.

Проходящий по проводнику ток создает вокруг него магнитное поле, напряженность которого зависит от силы тока, т. е. изменение тока вызывает изменение создаваемого им магнитного потока. Поскольку магнитный поток связан с проводником, в проводнике будет возникать э. д. с. всякий раз, когда изменяется протекающий по проводнику ток. Это явление получило название самоиндукции.

Направление э. д. с. самоиндукции определяется законом Ленца, а ее величина e — равна скорости изменения магнитного потока, созданного электрическим током:

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \tag{79}$$

Поскольку магнитный поток в этом случае пропорционален силе тока, величина e также пропорциональна скорости изменения силы тока в проводнике:

$$e \equiv \frac{\Delta i}{\Delta t}. \tag{80}$$

Чтобы получить равенство, необходимо ввести коэффициент пропорциональности L. Тогда

$$e = -L\frac{\Delta i}{\Delta t}. \tag{81}$$

Коэффициент L характеризует свойства цепи, обусловливающие возникновение и величину самоиндукции, поэтому он называется коэффициентом самоиндукции или просто индуктивностью цепи.

Индуктивность измеряется в генри (*гн*). Генри — это индуктивность такой цепи, на концах которой возникает э. д. с., равная 1 *в* при скорости измерения силы тока в цепи, равной 1 *а/сек*. В практике используют дольные части генри:

1 миллигенри (*мгн*) = 10^{-3} *гн*;
1 микрогенри (*мкгн*) = 10^{-3} *мгн* = 10^{-6} *гн*.

Если внутри катушки поместить стальной сердечник, то при той же скорости изменения силы тока в ней существенно увеличится индуктивность катушки (см. формулу (81) вследствие значитель-

ного возрастания магнитного потока. Свойство катушки изменять индуктивность при перемещении в ней ферромагнитного сердечника широко используется в практике регулирования колебательных контуров радиотехнических устройств. Катушки с сердечниками из стали (дроссели) применяются, в частности, в электрических фильтрах. Это объясняется тем, что дроссели оказывают сравнительно малое противодействие проходящему через них постоянному току и очень большое — переменному. Сопротивление дросселя переменному току обусловливается возникновением в нем э. д. с. самоиндукции, которая по закону Ленца направлена против тока, когда его сила в цепи возрастает, и согласно с током, когда сила его убывает.

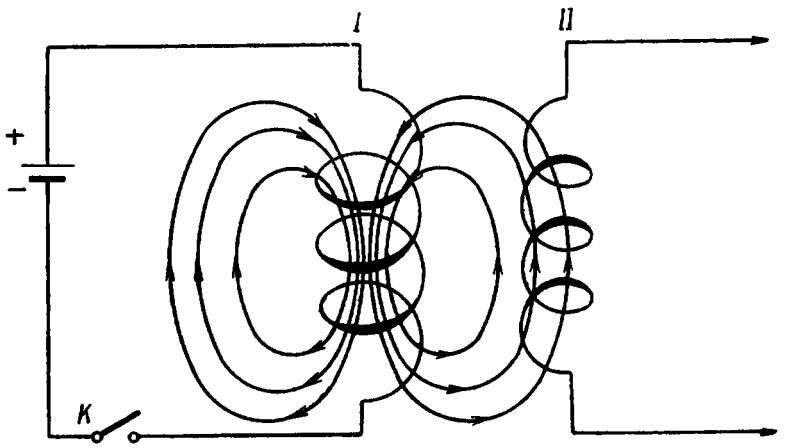


Рис. 44. Возникновение электродвижущей силы взаимоиндукции

Таким образом, э. д. с. самоиндукции противодействует всякому изменению тока в цепи. В этом отношении действие э. д. с. самоиндукции аналогично влиянию инерционности в механической системе, противодействующей всякому изменению скорости ее движения. С увеличением частоты переменного тока растет скорость его изменения и согласно формуле (81) возрастает э. д. с. самоиндукции, т. е. увеличивается противодействие дросселя проходящему через него переменному току.

Из теории переменных токов величина индуктивного сопротивления X_L равна

$$X_L = 2\pi\nu L \text{ ом}, \tag{82}$$

где ν — частота переменного тока, *гц*;

L — индуктивность цепи, *гн*.

Если две катушки расположить рядом так, чтобы магнитный поток одной сцеплялся с витками другой (рис. 44), то при всяком изменении тока в одной катушке в другой будет индуктироваться э. д. с., которую называют электродвижущей силой взаимоиндукции. В той катушке, где изменяется ток, одновременно индуктируется э. д. с. самоиндукции.

Величина э. д. с. взаимоиндукции E_2 во второй катушке при изменении тока в первой катушке со скоростью $\frac{\Delta i_1}{\Delta t}$ равняется

$$E_2 = -M\frac{\Delta i_1}{\Delta t}, \tag{83}$$

где M — коэффициент взаимоиндукции катушек, *гн*.

Коэффициент взаимоиндукции показывает степень участия катушек в индуктировании э. д с.:

$$M = K\sqrt{L_1 L_2}, \tag{84}$$

где K — коэффициент магнитной связи между катушками;

L_1 и L_2 — индуктивность катушек.

Величина K может изменяться от единицы, когда обе катушки находятся на одном стальном сердечнике, до нуля, если катушки разнесены настолько далеко друг от друга, что связи между ними нет.

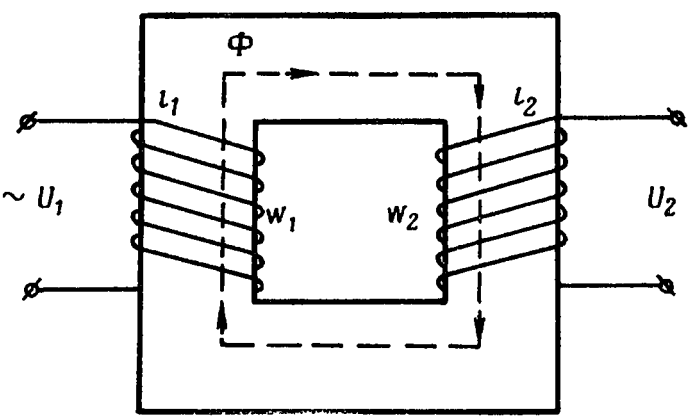


Рис. 45. Устройство трансформатора

Явление взаимоиндукции положено в основу работы трансформатора — устройства, предназначенного для преобразования переменного (пульсирующего) тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения. В простейшем случае трансформатор представляет собой две обмотки с различным числом витков, находящиеся на одном стальном сердечнике (рис. 45).

При подведении к первичной обмотке с числом витков w_1 переменного тока напряжением U_1 по ней начнет проходить ток i_1, который создаст вокруг первичной обмотки магнитное поле. Магнитный поток Φ практически целиком замыкается по стальному сердечнику, поэтому коэффициент магнитной связи между обмотками можно принять за единицу. Величина магнитного потока периодически изменяется, вследствие чего во вторичной обмотке с числом витков w_2 индуктируется э. д. с. взаимоиндукции. Подведенное

к первичной обмотке напряжение U_1 уравновешивается возникающей в ней э. д. с. самоиндукции e_1 т. е. $U_1=e_1$:

$$e_1=ew_1=-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}w_1, \tag{85}$$

где $e=-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ — э. д. с. самоиндукции, индуктируемая в одном витке первичной обмотки;

w_1 — число витков первичной обмотки.

Если пренебречь падением напряжения во вторичной обмотке, поскольку оно в сравнении с U_2 мало, то можно считать, что само напряжение этой обмотки равно э. д. с. взаимоиндукции, т. е. $U_2=E_2$.

$$E_2=ew_2=-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}w_2, \tag{86}$$

где $e=-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ — э. д. с. взаимоиндукции, индуктируемая в одном витке вторичной обмотки;

w_2 — число витков вторичной обмотки.

Ввиду того что обе обмотки пронизываются одним и тем же магнитным потоком, э. д. с. самоиндукции в витке первичной будет равна э. д. с. взаимоиндукции в витке вторичной обмотки.

Из формул (85) и (86) можно получить отношение напряжений на обмотках:

$$\frac{U_2}{U_1}=\frac{E_2}{e_1}=\frac{-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}w_2}{-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}w_1}=\frac{w_2}{w_1},$$

откуда

$$U_2=U_1\frac{w_2}{w_1}=nU_1, \tag{87}$$

где n — коэффициент трансформации.

Если пренебречь потерями, не превышающими на практике 1—3% мощности трансформатора, то можно приравнять подводимую и снимаемую с трансформатора мощности, т. е. $P_1=P_2$, или $U_1i_1=U_2i_2$, откуда

$$i_2=i_1\frac{U_1}{U_2}=i_1\frac{1}{n}. \tag{88}$$

Таким образом, в повышающем трансформаторе вторичная обмотка должна иметь витков больше, чем первичная обмотка, во столько раз, во сколько раз снимаемое напряжение больше подводимого. Сила тока, проходящего по вторичной обмотке, будет во столько же раз меньше тока первичной обмотки.

В тех случаях, когда требуется снимать с трансформатора несколько напряжений, различных по величине, на сердечник наматывается ряд вторичных обмоток. Условное изображение такого трансформатора на схемах показано на рис. 46.

В лабораторных условиях для небольшого изменения напряжения часто пользуются автотрансформаторами — приборами с одной обмоткой. В них выходное напряжение снимается с части витков, т. е. является частью э. д. с. самоиндукции, индуктируемой в обмотке. С помощью скользящего контакта выходное напряжение плавно регулируется в широких пределах.

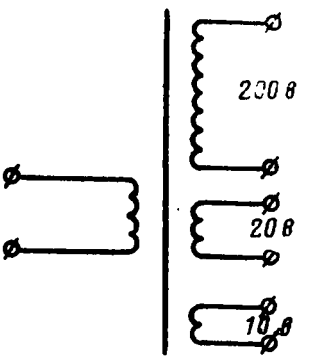


Рис. 46. Изображение на схемах трансформатора с тремя вторичными обмотками

Глава IV

ДЕТАЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

§ 1. Резисторы

Употреблявшийся ранее термин «сопротивление» обозначал одновременно и предмет (элемент электрической цепи) и его физическое свойство; в связи с этим было не ясно, о чем идет речь. Теперь под термином «сопротивление» понимается только физическое свойство радиодеталей.

Резисторами называются устройства, предназначенные для получения электрического сопротивления на данном участке цепи. Резисторы составляют 16—50% общего числа элементов радиотехнических устройств. Классифицируются резисторы по виду проводящего материала, назначению и конструктивному исполнению.

Основные параметры постоянных резисторов: номинальное сопротивление, допустимое отклонение действительной величины сопротивления от номинальной, номинальная мощность рассеяния.

Номинальное сопротивление резистора определяется размерами проводящего элемента и свойствами его материала. Согласно ГОСТ 2825—60 проволочные резисторы могут иметь величину номинального сопротивления от 0,1 *ома* до 10 *Мом,* непроволочные — от 1 *ома* до сотен *Гом.*

Допустимое отклонение действительной величины сопротивления от номинальной согласно ГОСТ 9664—61 для резисторов, выпускаемых отечественной промышленностью, может быть (в процентах) в пределах: ±0,01; ±0,02; ±0,1; ±0,5; ±1; ±2; ±5; ±10; ±20. В практике наиболее употребительны резисторы с отклонением в 5, 10 и 20%.

Номинальная мощность рассеяния — максимально допустимая мощность, при которой резистор может рассеивать тепло так, что при непрерывной электрической нагрузке и определенной температуре окружающей среды параметры его не изменяются выше величин, указанных в технических условиях. Резисторы, выпускаемые отечественной промышленностью, могут иметь мощность рассеяния (по ГОСТ 9363—61): 0,01; 0,025; 0,05; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 8; 10; 16; 25; 50; 75 и 100 *вт*. В практике наиболее широко используются резисторы с номинальной мощностью рассеяния 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 5 и 10 *вт*.

Подбирая резистор по мощности рассеяния, можно пользоваться формулой

$$I_{доп} = \sqrt{\frac{P_{расс}}{R_{ном}}}, \qquad (89)$$

где $I_{доп}$ — максимально допустимая сила тока, протекающая по резистору, *а*;

$P_{расс}$ — номинальная мощность рассеяния, *вт*;

$R_{ном}$ — номинальное сопротивление резистора, *ом*.

У переменных резисторов, кроме перечисленных параметров, еще указывается характер изменения сопротивления между средним и крайними выводами их оси. Имеются резисторы трех видов, у которых сопротивление изменяется в зависимости от угла поворота оси пропорционально, по логарифмической кривой и по обратно логарифмической кривой (рис. 47).

Номинальное сопротивление и допустимое отклонение от него обязательно указываются в маркировке резистора. Если есть мес-

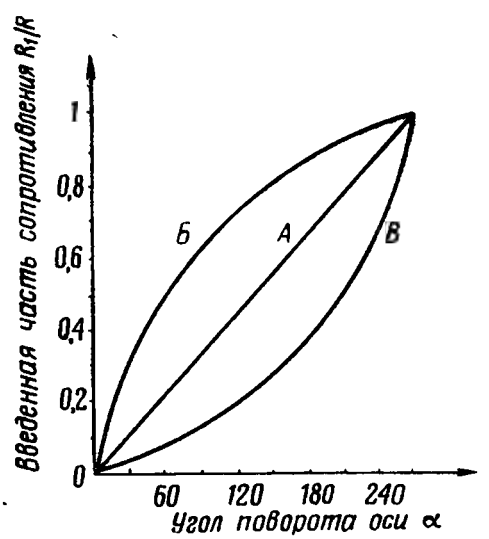


Рис. 47. Зависимость введенного сопротивления переменного резистора от угла поворота его оси: *А* — прямопропорциональная; *Б* — логарифмическая; *В* — обратно логарифмическая

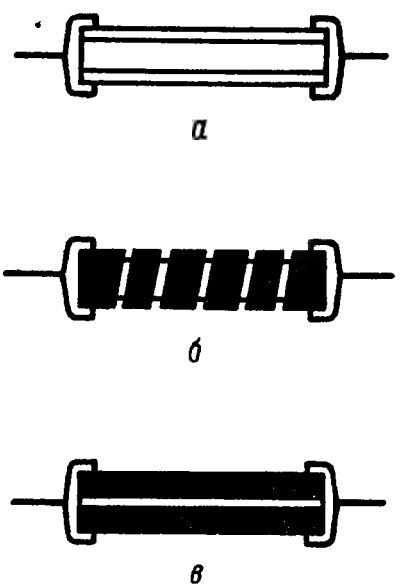


Рис. 48. Устройство постоянного резистора:

а — с поверхностным токопроводящим слоем; *б* — со спиральной канавкой; *в* — с продольной канавкой

то, отмечается и мощность рассеяния, если нет, эту величину можно определить по диаметру и длине резистора.

Постоянный непроволочный резистор (рис. 48) представляет собой керамический цилиндр, на поверхности которого нанесена пленка из проводящего материала. Часто его поверхность прорезается спиральной канавкой; этим простым способом удается значительно увеличить сопротивление. Иногда с этой же целью делаются продольные канавки. Проводящий слой резистора соединяется с электрической схемой через латунный колпачок или скобы, имеющие проволочный или ленточный отвод. В постоянных проволочных резисторах нихромовая проволока наматывается на керамические трубки и сверху покрывается стекловидной эмалью коричневого или зеленого цвета.

В переменном резисторе (рис. 49) сопротивление изменяется перемещением проволочной токосъемной щетки (ползунка) по токопроводящему слою, который наносится на изоляционное основание. Переменный резистор имеет три вывода: два — от концов токопроводящего слоя, один — от ползунка.

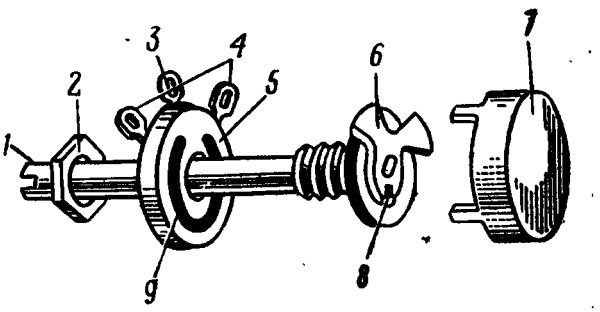


Рис. 49. Устройство переменного резистора:

1 — ось резистора; *2* — гайка; *3* — вывод токосъемника; *4* — выводы проводящего слоя; *5* — каркас; *6* — ограничительный сегмент; *7* — кожух; *8* — токосъемник; *9* — токопроводящий слой

Номинальное сопротивление переменных резисторов типа СП-1 — от 470 *ом* до 5 *Мом*, номинальная мощность рассеяния — от 0,25 до 2 *вт*.

Резисторы СП-2 отличаются от резисторов СП-1 тем, что в них имеется механический фиксатор оси в виде разрезной втулки с навинчивающейся на нее гайкой, которой ось резистора можно застопорить в любом положении. Это бывает нужно, когда переменные резисторы применяются в цепях, предназначенных для регулировки электрического режима работы схемы прибора.

В резисторах типа СПО токопроводящий материал впрессовывается в дугообразную канавку в керамическом основании корпуса, в результате значительно увеличивается толщина токопроводящего слоя. Такие резисторы называются объемными.

В дозиметрических приборах используются в основном резисторы типа ВС (высокостабильные, углеродистые) или типа МЛТ (металлизированные, лакированные, теплостойкие), имеющие проводящий элемент в виде пленки сплава или окиси металла. Применяются также резисторы типа КЛМ (композиционные, лакированные, мегомные), у которых проводящий слой представляет собой лакосажевую композицию; резисторы типа ММТ (медно-марганцовые термосопротивления), являющиеся объемными полупроводниковыми нелинейными резисторами, сопротивление которых резко

уменьшается с возрастанием температуры (приблизительно 3% на 1° С); проволочные резисторы высокой точности с допустимым отклонением от номинального сопротивления не более 1%; резисторы типа СП-1, СП-2, СПО, а в цепях накала ламп — переменные проволочные резисторы.

§ 2. Конденсаторы

Простейший конденсатор образуется двумя металлическими поверхностями — обкладками, разделенными изолирующим веществом (диэлектриком). В зависимости от применяемого диэлектрика конденсаторы различают по типам: бумажные, слюдяные, пленочные, керамические, электролитические.

Обкладками бумажного конденсатора являются ленты из фольги, обычно алюминиевой, толщиной 7—8 *мк*, между которыми прокладываются ленты из специальной конденсаторной бумаги толщиной от 4 до 15 *мк*. Ленты из фольги и бумаги свертываются в рулон, который вставляется в металлический или керамический корпус. Выводы от обкладок выводятся наружу.

Слюдяные конденсаторы типа КСО (конденсаторы слюдяные, опрессованные в пластмассу) изготавливаются двух видов: с обкладками из фольги и с обкладками из серебра, нанесенного на поверхность слюды. Использованием серебряных обкладок достигается лучшая стабильность емкости при изменении температуры.

Из большой группы керамических конденсаторов в дозиметрических приборах используются конденсаторы типа КТ-2 (керамические трубчатые). Они представляют собой тонкостенные керамические трубки диаметром 5—7 *мм*, на внешнюю и внутреннюю поверхность которых наносится слой серебра, выполняющий роль обкладок конденсатора. Выводы от обкладок сделаны медным посеребренным проводом, припаянным к обкладкам.

Пленочные конденсаторы имеют обкладки из алюминиевой фольги, между которыми прокладываются ленты из полистирольной пленки (стирофлекса), фторопласта или лавсана. Ленты свертываются в рулон и подвергаются термообработке при температуре 220—300° С, при которой пленки спекаются между собой, обеспечивая плотное прилегание фольги к пленке. В дозиметрических приборах используются конденсаторы типа ПО (пленочные открытые), у которых проволочные выводы выходят непосредственно из торцов секции.

Электролитические конденсаторы обладают значительно бо́льшей емкостью, сравнительно со всеми другими типами конденсаторов. Объясняется это тем, что толщина диэлектрика у них, а следовательно, и расстояние между обкладками незначительное, порядка нескольких микронов, и поэтому сила притяжения между разноименными зарядами на обкладках, как это следует из закона Кулона, велика, что обеспечивает удержание на обкладках конденсатора большого количества зарядов. Диэлектриком является тончайшая пленка окиси алюминия, наносимая электролитическим

способом на положительную обкладку конденсатора, изготовленную из чистого алюминия. Роль второй обкладки выполняет электролит.

Конструктивно электролитический конденсатор состоит из двух полос алюминиевой фольги, одна из которых оксидирована, а другая чистая. Между ними проложена бумажная полоса, пропитанная электролитом, представляющим обычно раствор борной кислоты в глицерине. Все ленты свертываются в рулон и вставляются в алюминиевый корпус так, чтобы чистая полоса алюминия соприкасалась с корпусом. Назначение чистой полосы заключается в обеспечении контакта между электролитом и корпусом конденсатора.

Электролитические конденсаторы могут применяться только в цепях постоянного или пульсирующего тока, так как включение конденсатора обратной полярностью приводит к разрушению оксидной пленки и пробою конденсатора, что сопровождается в некоторых конденсаторах парообразованием и выбиванием рулона из корпуса, внешним образом похожее на взрыв конденсатора. Полярность выводов обычно указывается на конденсаторе. Если полярность не указана, то корпус конденсатора следует соединить с той точкой схемы, которая имеет отрицательный потенциал.

Конденсатор называется постоянным, если его емкость не может изменяться. Основные параметры постоянного конденсатора: рабочее напряжение, номинальная емкость, допустимое отклонение действительной емкости от номинальной. В маркировке конденсатора кроме его типа указываются и основные параметры.

§ 3. Трансформаторы

Трансформатор используется в дозиметрических приборах, преимущественно в схемах преобразователей напряжения. Для уменьшения потерь на перемагничивание сердечников они изготовляются из магнитно-мягких неметаллических материалов, например феррита.

На сердечник надевается каркас, на который наматывают одну первичную и несколько вторичных обмоток, с тем чтобы получить несколько различных выходных напряжений. Для увеличения прочности изоляции обмоток трансформатор пропитывается специальным лаком и заключается в герметизированный металлический кожух. Выводы от концов обмоток выводятся наружу через стеклянные изоляторы.

§ 4. Переключатели

Переключатели в дозиметрических приборах служат для замыкания и размыкания цепей, а также для поочередного переключения, например, микроамперметра к различным участкам схемы. По своей конструкции они подразделяются на галетные, кнопочные и тумблеры.

Галетные переключатели состоят из одной, чаще нескольких плат (галет), собранных в один узел при помощи двух шпилек. Платы изготовляются из текстолита, пластмассы или керамики. Каждая плата имеет неподвижный статор с пружинными контактами и подвижной ротор с замыкателем. При повороте ротора его замыкатель касается одного из контактов статора и удерживается в этом положении шариковым пружинным фиксатором. Если плат несколько, их роторы насаживаются на общую ось, что дает возможность поворотом ее переключать сразу несколько цепей.

В кнопочном переключателе при нажатии кнопки стержень давит на пластинчатые пружины с контактами и замыкает или размыкает их.

Тумблеры — выключатели мгновенного действия; изготовляются они в двух вариантах: для однополюсного (разрывная мощность 220 *вт*) и двухполюсного (разрывная мощность 110 *вт*) включения.

§ 5. Монтажные детали

Монтажные детали служат для упрощения сборки электрической схемы в дозиметрических приборах. В этих целях используются ламповые панели для семиштырьковых ламп пальчиковой серии, монтажные планки и опорные стойки, на которых при помощи развальцованных пистонов укрепляются луженые лепестки, клеммы (в большинстве приборов пружинные) и соединительные колодки (фишки) для подключения соединительных кабелей.

Глава V

ЦЕПИ С РЕЗИСТОРАМИ

§ 1. Цепь с реостатом

Для регулирования силы тока в цепи, например установки номинальной силы тока нити накала лампы, последовательно с потребителем включается переменный резистор (обычно проволочный), называемый реостатом (рис. 50).

По закону Ома сила тока потребителя определяется выражением

$$i_{\text{потр}} = \frac{U_{\text{ист}}}{R_{\text{потр}} + R_{\text{р}}}. \qquad (90)$$

Из этого выражения видно, что, изменяя сопротивление реостата $R_{\text{р}}$ при постоянном значении сопротивления потребителя $R_{\text{потр}}$, можно добиться номинальной силы тока потребителя $i_{\text{потр}}$.

§ 2. Цепь с гасящим сопротивлением

Цепь с постоянным резистором, уменьшающим напряжение на потребителе по сравнению с напряжением источника тока, называется цепью с гасящим сопротивлением (рис. 51). Известно, что при последовательном соединении сумма падений напряжения на участках цепи равна напряжению на зажимах источника тока и что напряжение источника распределяется по участкам прямо пропорционально сопротивлениям участков, т. е.

$$U_{\text{потр}} + U_{\text{гас}} = U_{\text{ист}};$$

$$\frac{U_{\text{гас}}}{U_{\text{потр}}} = \frac{R_{\text{гас}}}{R_{\text{потр}}}.$$

Отсюда гасящее сопротивление

$$R_{\text{гас}} = \frac{U_{\text{ист}} - U_{\text{потр}}}{U_{\text{потр}}} R_{\text{потр}}. \qquad (91)$$

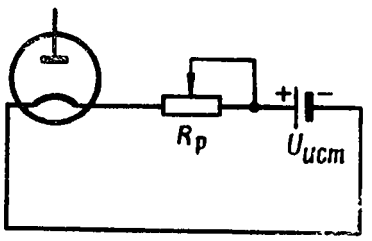


Рис. 50. Цепь накала лампы с реостатом

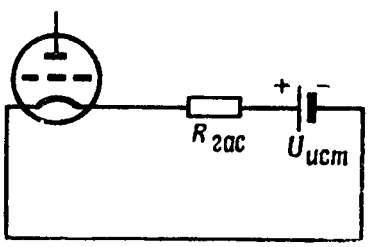


Рис. 51. Цепь с гасящим сопротивлением

В некоторых случаях постоянные резисторы обязательно должны включаться последовательно с потребителями, например, неоновыми лампами, стабилитронами и т. п. Делается это для того, чтобы ограничить проходящий через них ток и предотвратить переход тлеющего разряда в дуговой. Сопротивление таких резисторов обычно велико — до десятков килоом. В этом случае резистор выполняет роль балластного сопротивления.

Когда напряжение на потребителе должно быть значительно меньше напряжения источника тока, использовать гасящее сопротивление невыгодно из-за больших потерь на гасящем сопротивлении по сравнению с полезной работой потребителя. В тех случаях, когда требуется подать разность потенциалов к обесточенному участку цепи, например, между сеткой и катодом лампы, использование цепи с гасящим сопротивлением становится невозможным в связи с отсутствием тока, и тогда прибегают к схеме, получившей название делителя напряжения.

§ 3. Делитель напряжения на сопротивлениях

Делитель напряжения на сопротивлениях (рис. 52) обычно состоит из нескольких последовательно соединенных и подключенных к источнику тока резисторов, сопротивления которых подбира-

ются так, чтобы падение напряжения на одном из них равнялось требующемуся напряжению на потребителе:

$$U_{\text{потр}} = iR_2.$$

Поскольку

$$i = \frac{U_{\text{ист}}}{R_1 + R_2},$$

то

$$U_{\text{потр}} = \frac{U_{\text{ист}}}{R_1 + R_2} R_2. \qquad (92)$$

При подборе сопротивления резисторов для делителя напряжения необходимо иметь в виду, что чем больше суммарное сопротивление делителя, тем меньше проходящий через него ток, тем меньше мощность, расходуемая источником тока.

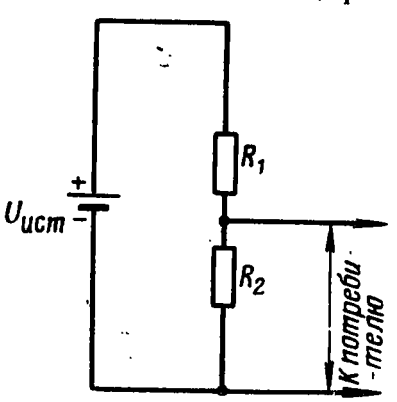


Рис. 52. Схема делителя напряжения на сопротивлениях

Выбирать сопротивление делителя очень большим также нельзя, так как сопротивление того резистора, с которого снимается падение напряжения на потребитель, должно быть значительно меньше сопротивления самого потребителя, чтобы подключение потребителя к резистору (в формуле R_2) практически не изменяло сопротивления этого участка и тем самым не сказывалось на величине падения напряжения на R_2.

Делители напряжения на сопротивлениях широко используются в дозиметрических приборах.

§ 4. Потенциометр

Иногда требуется в процессе работы изменять величину напряжения, снимаемого с делителя, например регулировать напряжение в зарядном устройстве комплекта дозиметров. Проще всего

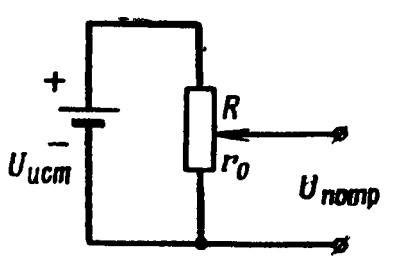


Рис. 53. Схема потенциометра

это делать, изменяя сопротивление участка, с которого снимается падение напряжения. Такая схема называется потенциометром (рис. 53).

Ток, проходящий по потенциометру и равный

$$i = \frac{U_{\text{ист}}}{R + r_0}, \qquad (93)$$

создает на участке с сопротивлением r_0 падение напряжения, которое снимается на потребитель

$$U_{\text{потр}} = ir_0. \qquad (94)$$

С перемещением движка потенциометра изменяется только величина сопротивления участка r_0, а сопротивление всего потенциометра $(R + r_0)$ остается неизменным, поэтому сила тока (см. формулу (93) остается постоянной. В результате изменения r_0 при той же силе тока на участке изменяется напряжение на зажимах потребителя. Например, для увеличения напряжения на потребителе (см. рис. 53) движок потенциометра надо переместить вверх.

Выбирать сопротивление потенциометра следует так же, как и для делителя напряжения на сопротивлениях, т. е. оно должно быть значительно меньше сопротивления потребителя, но достаточно большим для экономного расходования энергии источника.

Глава VI

ЦЕПИ С КОНДЕНСАТОРАМИ

§ 1. Заряд — разряд конденсатора

Если конденсатор подключить к источнику тока (рис. 54), он начнет заряжаться. При этом свободные электроны, имеющиеся на отрицательном зажиме источника в избытке по отношению к нижней обкладке конденсатора, начнут двигаться к конденсатору; свободные же электроны, имеющиеся на верхней обкладке конденсатора в избытке по отношению к положительному зажиму источника, будут перемещаться от конденсатора к источнику. Таким образом, в цепи конденсатора возникает зарядный ток. Условно принято, что его направление противоположно действительному направлению движения электронов.

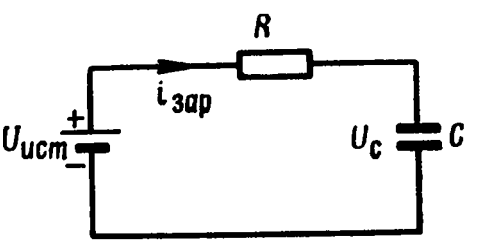


Рис. 54. Схема включения конденсатора на заряд

Из-за образовавшегося различия в количестве свободных электронов на обкладках конденсатора между ними возникает разность потенциалов, называемая напряжением конденсатора. Это напряжение возрастает до тех пор, пока не уравняется количество свободных электронов между верхней обкладкой конденсатора и положительным зажимом источника тока и между нижней обкладкой и отрицательным зажимом. Другими словами, заряд конденсатора

прекратится, как только напряжение конденсатора достигнет величины напряжения источника тока.

Сила зарядного тока в любой момент есть разность напряжений источника тока и конденсатора в отношении сопротивления цепи заряда:

$$i_{зар} = \frac{U_{ист} - U_C}{R}. \tag{95}$$

Напряжение на конденсаторе U_C изменяется в свою очередь в зависимости от количества пришедших на него зарядов, т. е. от силы зарядного тока и времени заряда. Поэтому выражение для зарядного тока принимает более сложный вид:

$$i = i_0 e^{-\alpha t}, \tag{96}$$

где i_0 — сила зарядного тока в начале заряда, *а;*

e — основание натуральных логарифмов;

t — время заряда, *сек*;

α — постоянная величина, зависящая от параметров цепи.

Для определения времени заряда (разряда) конденсатора вводится понятие постоянной времени цепи τ, за которую принимают величину, обратную постоянной α, т. е.

$$\tau = \frac{1}{\alpha}.$$

Если заряд конденсатора будет продолжаться время $t = \tau$, то сила зарядного тока уменьшится в e раз, т. е. приблизительно в 2,7 раза, что видно из формулы (96):

$$e^{-\alpha t}; \quad \text{при } t = \tau \; e^{-\alpha \frac{1}{\alpha}} = e^{-1}, \text{ т. е. } i = i_0 e^{-1}.$$

За время $t = 5\tau$ величина $e^{-\alpha t}$ уменьшится в $2{,}7^5$, т. е. приблизительно в 160 раз или составит около 0,6% первоначальной. Поэтому можно считать, что 5τ есть время, за которое конденсатор успевает практически зарядиться (разрядиться) полностью.

Постоянная времени цепи для заряда и разряда конденсатора емкостью C в цепи с сопротивлением R определяется выражением

$$\tau = RC, \tag{97}$$

где τ — в секундах, R — в омах, C — в фарадах.

Изменение зарядного тока и напряжения на обкладках конденсатора иллюстрируется графиком, приведенным на рис. 55.

Разряжается конденсатор по схеме, изображенной на рис. 56. Свободные электроны с нижней обкладки конденсатора, где они находятся в избытке, начинают перемещаться через резистор R к верхней обкладке, где их недостает. Движение электронов прекратится, когда количество свободных электронов на обкладках конденсатора уравняется, т. е. в момент, когда разность потенциалов между обкладками станет равной нулю.

Сила разрядного тока равна

$$i_{раз} = \frac{U_C}{R}, \qquad (98)$$

где $i_{раз}$ — сила разрядного тока, *а;*
U_C — напряжение на обкладках конденсатора, *в;*
R — сопротивление цепи разряда, *ом.*

Поскольку напряжение конденсатора U_C само зависит от силы разрядного тока, то последний можно рассчитывать по формуле (96).

Изменение тока и напряжения при разряде конденсатора показано на графике (рис. 57).

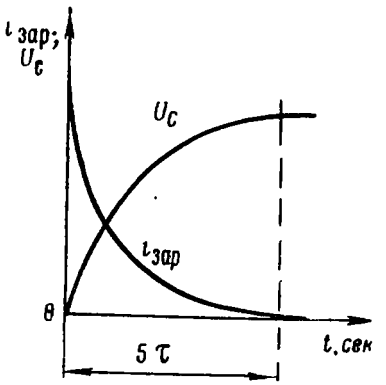


Рис. 55. Изменение тока и напряжения конденсатора при его заряде

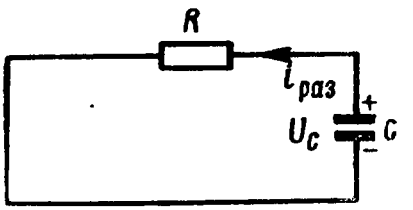


Рис. 56. Схема разряда конденсатора

В дозиметрических приборах, работающих в импульсном режиме, используется электрическая цепь, состоящая из параллельно соединенных конденсатора большой емкости и резистора с большим сопротивлением. Эта цепь называется интегрирующим контуром.

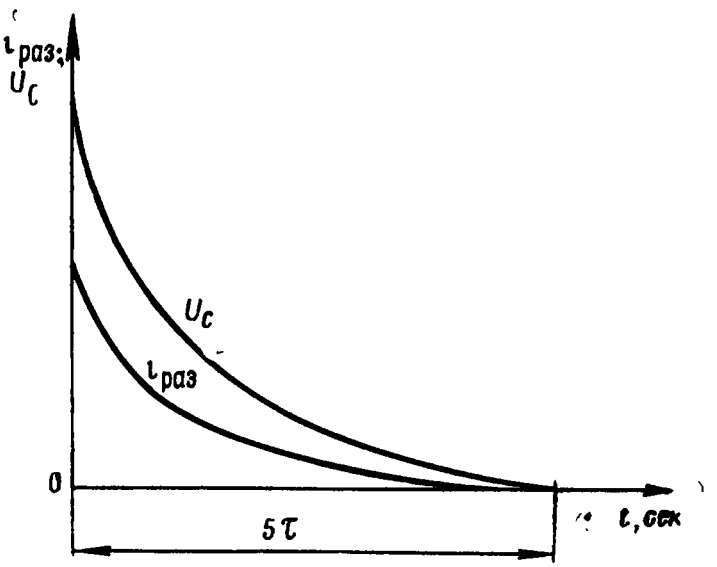


Рис. 57. Изменение тока и напряжения конденсатора при его разряде

§ 2. Последовательное и параллельное соединение конденсаторов

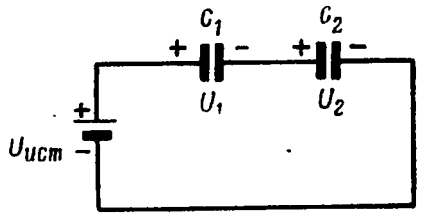


Рис. 58. Схема последовательного соединения конденсаторов

Последовательным называется такое соединение, при котором для прохождения тока имеется лишь один путь (рис. 58). Отсюда следует, что во-первых, через все участки цепи протекает один и тот же ток, а применительно к конденсаторам каждый из них получает одинаковый электрический заряд; во-вторых, общее емкостное сопротивление всего соединения равно сумме емкостных сопротивлений каждого конденсатора:

$$X_{C_{общ}} = X_{C_1} + X_{C_2}. \tag{99}$$

Из теории переменных токов известно, что емкостное сопротивление X_C равно

$$X_C = \frac{1}{2\pi\nu C} \text{ ом}, \tag{100}$$

где ν — частота тока, *гц*;

C — емкость конденсатора, *ф*.

Из выражений (99) и (100) следует, что общая емкость цепи меньше, чем самая меньшая из включенных последовательно емкостей:

$$\frac{1}{C_{общ}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}. \tag{101}$$

Напряжение на конденсаторе по аналогии с формулой (50) равно

$$U_C = \frac{q}{C}, \tag{102}$$

где U_C — напряжение конденсатора, *в*;

q — заряд на конденсаторе, *к*;

C — емкость, *ф*.

Поскольку заряды на конденсаторах одинаковы, получаем

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1}, \tag{103}$$

т. е. напряжения на конденсаторах обратно пропорциональны их емкостям.

Сумма напряжений на конденсаторах равна напряжению на зажимах источника тока, так как только при этом условии прекращается заряд конденсаторов:

$$U_{ист} = U_{C_1} + U_{C_2}. \tag{104}$$

Последовательно соединенные конденсаторы перераспределяют напряжение источника тока обратно пропорционально емкостям конденсаторов. Это свойство используется для создания делителя напряжения (рис. 59), который находит применение, в частности, в схеме зарядно-измерительного устройства комплекта ДП-23-А.

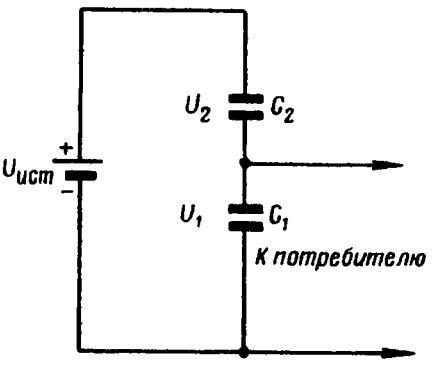


Рис. 59. Схема делителя напряжения на конденсаторах

Работу такого делителя поясним на примере. Пусть дано $U_{ист} = 82$ *в*, $C_1 = 1000$ *пф*, $C_2 = 25$ *пф*. Определим напряжения U_1 и U_2 на конденсаторах.

Составляем уравнения последовательного соединения конденсаторов, которые решаем совместно:

$$\left.\begin{aligned} \frac{U_1}{U_2} &= \frac{C_2}{C_1}; \\ U_1 + U_2 &= U_{ист}. \end{aligned}\right\}$$

Полученное из первого уравнения выражение

$$U_1 = U_2 \frac{C_2}{C_1}$$

подставляем во второе; тогда

$$U_2 \frac{C_2}{C_1} + U_2 = U_{ист},$$

откуда

$$U_2 = \frac{U_{ист}}{1 + \frac{C_2}{C_1}} = \frac{82}{1 + \frac{25}{1000}} = \frac{82 \cdot 1000}{1025} = 80 \text{ в}.$$

Из второго уравнения следует, что

$$U_1 = U_{ист} - U_2 = 82 - 80 = 2 \text{ в}.$$

Итак, на первом конденсаторе напряжение в 40 раз меньше, чем на втором, потому что C_1 в 40 раз больше C_2.

Параллельным называется такое соединение конденсаторов, когда для тока имеется несколько путей. Так как при этом все одноименные обкладки конденсаторов соединяются в одну точку, то напряжения на всех конденсаторах одинаковы:

$$U_1 = U_2 = U_{ист}. \qquad (105)$$

Соединение одноименных обкладок конденсаторов эквивалентно увеличению площади, поэтому емкость всего соединения равна сумме емкостей:

$$C_{общ} = C_1 + C_2. \qquad (106)$$

Глава VII

ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Химическими источниками тока называются такие устройства, которые позволяют превращать энергию протекающих в них химических процессов в электрическую.

Такие источники применяются для питания электрических схем войсковых радиостанций, цепей электрооборудования машин, подсвета знаков ограждения зараженных участков, освещения рабочих мест. В войсковых дозиметрических приборах с помощью их обеспечивается автономное питание в полевых условиях.

§ 1. Принцип действия химического источника тока

В основу работы любого химического источника тока положена окислительно-восстановительная реакция. Согласно современным представлениям, такими реакциями являются все реакции, которые сопровождаются изменением валентности взаимодействующих веществ.

При окислении вещества число электронов в его молекулах уменьшается, а при восстановлении увеличивается. Во время окислительно-восстановительной реакции электроны переходят от окислителя к восстанавливающему веществу. Причем этот процесс может быть направленным или хаотическим; в первом случае образуется электрический ток, во-втором выделяется только тепло.

Если реагирующие вещества непосредственно соприкасаются друг с другом, то для электронов имеется одинаковая вероятность перемещения во всех направлениях. В результате освобождающаяся химическая энергия выделяется в виде тепла. Например, при всыпании железных опилок в раствор медного купороса начинается реакция вытеснения: железо переходит в раствор, а медь выделяется из раствора. Это взаимодействие описывается так:

— реакция окисления:

$$Fe - 2e \rightarrow Fe^{++};$$

— реакция восстановления:

$$Cu^{++} + 2e \rightarrow Cu;$$

— суммарная реакция:

$$Fe + Cu^{++} = Fe^{++} + Cu.$$

Во время реакции смесь разогревается. Чтобы энергия химического процесса могла выделяться в виде электрической, необходимо обеспечить направленное перемещение электронов, освобождающихся при окислении вещества, к месту их поглощения при вос-

становительном процессе. Для этого реагирующие вещества разделяют электролитом, тогда процессы окисления происходят в одном месте, а процессы восстановления — в другом. Если вещества разделяются двумя электролитами, то добавляют еще пористую перегородку, проницаемую для ионов, но непроницаемую для электролита.

Предположим, что пористой перегородкой отделены два электрода: один из них (железный) помещен в раствор серной кислоты, а другой (платиновый) — в раствор медного купороса (рис. 60).

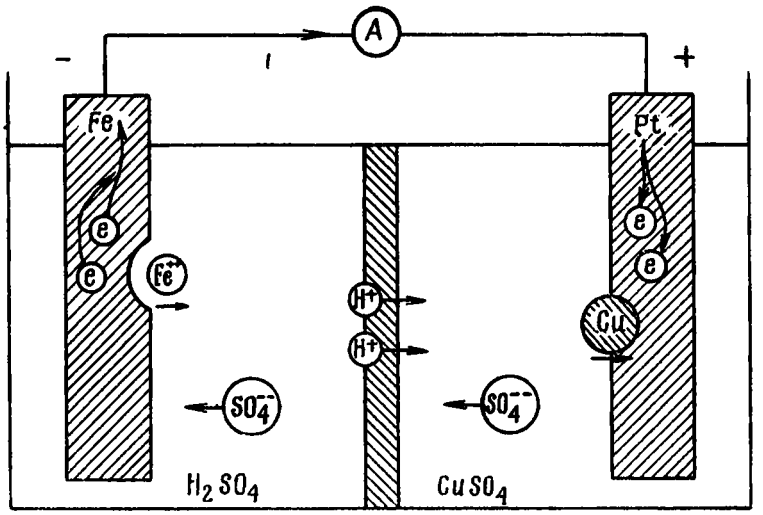


Рис. 60. Электрохимическая система с разделенными электродами и электролитами

Пока электроды не соединены, железо и медный купорос в системе не взаимодействуют. При их замыкании проводником немедленно возникают электрохимические процессы: на отрицательном электроде атом железа переходит в раствор в виде положительного иона, посылая при этом в цепь два электрона:

$$Fe - 2e \rightarrow Fe^{++};$$

ион железа, встречая в растворе ион SO_4^{--}, образует сернокислое железо $FeSO_4$:

$$Fe^{++} + SO_4^{--} \rightleftarrows FeSO_4.$$

В итоге у отрицательного электрода образуется сернокислое железо и освобождаются два иона водорода и два электрона:

$$Fe + H_2SO_4 = FeSO_4 + 2H^+ + 2e.$$

Электроны, достигнув по внешнему проводнику положительного электрода, нейтрализуют на нем положительные ионы меди:

$$Cu^{++} + 2e \rightarrow Cu.$$

Атомы меди, осаждаясь на поверхности электрода, образуют слой металлической меди.

Подвижные ионы водорода, освободившиеся из отрицательного электрода, проникают через пористую перегородку к положительному электроду и, встретив здесь ионы SO_4^{--}, соединяются в молекулу серной кислоты H_2SO_4:

$$2H^+ + SO_4^{--} \rightleftarrows H_2SO_4.$$

В итоге у положительного электрода освобождается медь, а в растворе накапливается серная кислота:

$$CuSO_4 + 2e + 2H^+ = Cu + H_2SO_4.$$

Суммарный токообразующий процесс описывается таким уравнением:

$$Fe + CuSO_4 = FeSO_4 + Cu.$$

Как видим, это тождественно тому, что было в предыдущем примере. Различие в том, что в первом случае химическая энергия выделялась в виде тепла, а во втором — в виде электрической энергии.

Теоретически в основу работы химического источника тока может быть положена любая окислительно-восстановительная реакция. Однако в практике выбираются лишь те, в которых используются доступные и дешевые вещества. Это делается для того, чтобы получить дешевый, удобный в эксплуатации и несложный при массовом производстве химический источник тока. В частности, к таким источникам относится марганцово-цинковый гальванический элемент.

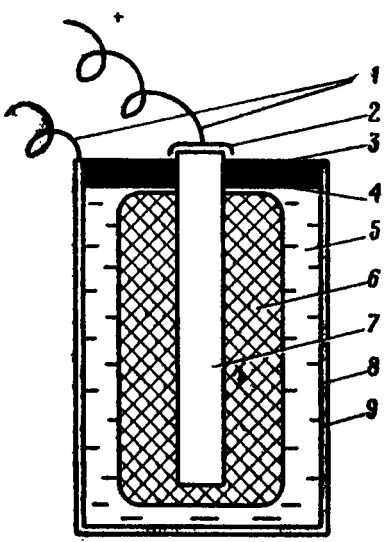


Рис. 61. Устройство гальванического марганцово-цинкового элемента:

1 — выводы электродов; *2* — латунный колпачок; *3* — заливочная смолка; *4* — картонная прокладка; *5* — электролит; *6* — марлевый мешочек с положительной активной массой; *7* — угольный токоотвод; *8* — цинковый стакан (отрицательный электрод); *9* — картонная коробка

§ 2. Устройство гальванического элемента марганцово-цинковой системы

У гальванического элемента марганцово-цинковой системы отрицательный электрод изготовляется из цинка в виде стакана, с тем чтобы он мог служить одновременно сосудом для положительного электрода и электролита (рис. 61). Активные вещества положительного электрода — это двуокись марганца MnO_2 и кислород воздуха O_2, которые являются сильными окислителями. Внутри цинкового стакана расположен положительный электрод — угольный токоотвод (стержень), помещенный в марлевый мешочек, заполненный агломератной массой — смесью графитного порошка с двуокисью марганца. Стакан заполняется электролитом, состоящим из 20% водного раствора хлористого аммония.

Чтобы электролит не выливался из элемента, его загущают мукой, а для уменьшения высыхания в верхней части стакана ставится картонная прокладка, поверх которой заливается битум (смолка). Снаружи цинковый стакан обертывается парафинированным картоном или бумажной этикеткой, на которой указывается маркировка элемента.

§ 3. Работа элемента марганцово-цинковой системы

При погружении металла в электролит поверхностные ионизированные атомы, входящие в состав пространственной решетки металла, начинают испытывать воздействие раствора — влияние так называемой силы гидратации, которая стремится вырвать их в раствор. А для цинка сила гидратации больше сил связи ионизированных атомов с электронами. Поэтому часть атомов металла переходит в раствор в виде положительных ионов цинка, а в металле остаются электроны. Следовательно, электрод при соприкосновении с электролитом зарядится отрицательно, а слой жидкости около электрода, куда перешли ионы цинка, — положительно, т. е. между электродом и электролитом создастся разность потенциалов. Поскольку положительные ионы цинка удерживаются около электрода силой притяжения отрицательных зарядов, находящихся в электроде, образуется двойной электрический слой. Этот слой положительных зарядов будет препятствовать дальнейшему переходу в раствор положительных ионов металла, и растворение цинка прекратится.

Величина потенциала, возникающая в этом случае на электроде, зависит только от вещества электрода, вещества и концентрации электролита и в небольшой степени от температуры электролита. Ни форма, ни размеры электрода на величину потенциала влияния не оказывают.

Из-за двойного электрического слоя цинковый электрод оказывается электрически нейтральным для всех точек электролита, за исключением слоя, непосредственно прилегающего к электроду. Поэтому присутствие цинкового электрода не изменяет хаотического движения ионов аммония и хлора, образующихся вследствие диссоциации электролита:

$$NH_4Cl \rightarrow NH_4^+ + Cl^-.$$

Положительный электрод тем более не оказывает влияния на хаотическое движение ионов электролита, так как его активная масса — двуокись марганца — практически не растворяется в электролите и потенциала на нем не возникает.

Таким образом, между отрицательным и положительным электродами возникает разность потенциалов, или электродвижущая сила (рис. 62).

При замыкании внешней цепи проводником электроны начинают перемещаться от места, где они находятся в избытке, к месту,

в котором ощущается их недостаток, т. е. от цинкового отрицательного электрода к положительному электроду. В результате в проводнике возникает электрический ток. Чтобы поддерживать ток, необходимо сохранять разность потенциалов между электродами; это обеспечивается непрерывным освобождением электронов на цинке (при окислительной реакции) и непрерывным поглощением электронов, пришедших на положительный электрод (при реакции восстановления).

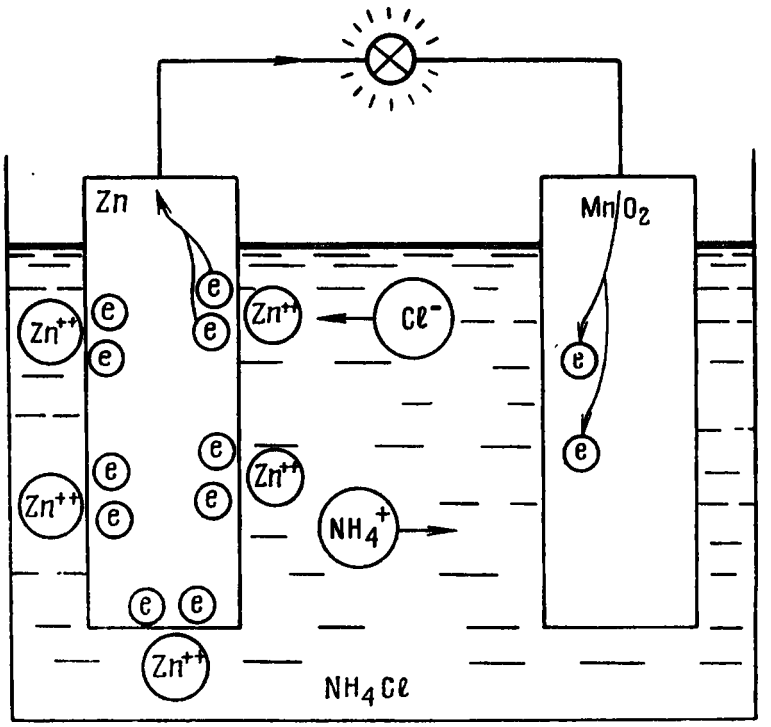


Рис. 62. Электрохимические процессы в марганцово-цинковом элементе при его работе

По мере того как цинковый электрод теряет электроны, положительных зарядов на нем становится больше, чем отрицательных, и он начинает проявлять себя для всех точек электролита как положительно заряженное тело. Положительный электрод, приобретая электроны, оказывается по отношению электролита отрицательно заряженным телом. Тогда положительные ионы аммония начнут двигаться к положительному электроду, а отрицательные ионы хлора — к цинковому электроду. Создается направленное движение ионов в электролите. Таким образом, при возникновении электротока во внешней цепи тотчас же возникает ток и внутри элемента.

Отрицательные ионы хлора, подойдя к цинковой пластине, начинают взаимодействовать с ионами цинка, образуя в растворе хлористый цинк:

$$Zn^{++} + 2Cl^- \rightarrow ZnCl_2.$$

С уменьшением числа положительных ионов цинка в двойном электрическом слое электрода уменьшается сила противодействия

выходу ионов цинка из электрода в раствор. Это вызовет заполнение двойного электрического слоя новыми ионами цинка из электрода и увеличение его потенциала до прежней величины.

Электроны, пришедшие по внешней цепи к положительному электроду, вызывают, с одной стороны, выделение из двуокиси марганца ионов кислорода и превращение их в электролите в ионы гидроксила, с другой — образование закиси марганца, которая остается в твердом веществе электрода:

$$MnO_2 + H_2O + 2e \rightarrow MnO + 2OH^-.$$

Положительные ионы аммония, приходящие к положительному электроду, взаимодействуют с возникшими ионами гидроксила с образованием гидроокиси аммония:

$$2OH^- + 2NH_4^+ \rightarrow 2NH_4OH.$$

Гидроокись аммония NH_4OH часто называют нашатырным спиртом. Это вещество легко распадается на газ аммиак NH_3 и воду:

$$NH_4OH \rightarrow NH_3 + H_2O.$$

Из-за этого в некоторых элементах подобной системы приходится делать газоотводные трубки.

Сложив уравнения химических процессов, происходящих на электродах, получим токообразующую реакцию в целом:

$$MnO_2 + 2NH_4Cl + H_2O + Zn \rightarrow MnO + ZnCl_2 + 2NH_4OH.$$

Таким образом, при замыкании внешней части цепи во всей цепи возникает электрический ток — направленное движение свободных электронов в металлических проводниках и потребителях и направленное движение положительных и отрицательных ионов внутри источника.

§ 4. Основные параметры элементов марганцово-цинковой системы

Гальванический элемент характеризуется следующими основными параметрами: электродвижущей силой, внутренним сопротивлением, напряжением на зажимах при работе элемента, электрической емкостью.

Электродвижущая сила, как было показано выше, зависит только от материала электродов и вещества электролита (она не зависит от размеров элемента). Для элементов марганцово-цинковой системы э. д. с. составляет 1,5—1,65 *в*, в процессе эксплуатации она уменьшается незначительно. По величине э. д. с. нельзя судить о работоспособности элемента.

Внутреннее сопротивление элемента складывается из сопротивления электродов, электролита и внутренних соединений. Кроме того, к внутреннему сопротивлению относят противодействие току внутри элемента вследствие задержек в перехо-

де электрических зарядов с электродов в раствор и обратно. Внутреннее сопротивление элементов марганцово-цинковой системы достигает нескольких омов. По мере разряда элемента внутреннее сопротивление значительно возрастает; оно увеличивается и при возрастании силы тока во внешней цепи.

Напряжение на зажимах элемента при его работе всегда меньше э. д. с. Это видно из закона Ома (формула (56). Представив формулу (56) в виде

$$E = IR + Ir,$$

легко заметить, что за счет электродвижущей силы элемента создается падение напряжения во внешней части цепи и внутри источника тока.

Величина $IR = U_{ист}$ есть напряжение на зажимах источника. Поэтому

$$U_{ист} = E - Ir. \qquad (107)$$

Следовательно, напряжение источника определяется силой разрядного тока и внутренним сопротивлением, иными словами, работоспособностью элемента. По величине напряжения на зажимах, измеренного при определенной силе тока, указанной в технических условиях, судят о работоспособности элемента.

Электрическая емкость элемента — количество электричества, которое может он отдать при разряде определенной силой тока до определенного конечного напряжения. Единица измерения емкости элемента — ампер-час (*а-ч*); она равна такому количеству электричества, которое протекает по цепи в течение 1 *ч* при силе тока в 1 *а*. 1 *а-ч* = 3600 *к*.

Емкость элемента несколько увеличивается при разряде с перерывами, так как за время паузы электролит и ионы успевают глубже проникать в поры активной массы положительного электрода. обеспечивая участие в реакциях большого количества активной массы. С уменьшением температуры увеличивается вязкость электролита, это приводит к снижению емкости элемента.

Основные параметры элемента указываются в маркировке. Например, шифр «1,6-ПМЦ-У-8» означает, что э. д.с. элемента 1,6 *в*; предназначен элемент для питания приборов; является марганцово-цинковым, универсальным, т. е. может работать зимой и летом; емкость 8 *а-ч*.

§ 5. Уход за элементами и их хранение

Весьма важно, чтобы при эксплуатации элементов не происходил их саморазряд. Поэтому элементы надо оберегать от влаги и пыли; если они отпотеют при резком изменении температуры, их следует вытирать насухо. Емкость элемента ограничена и расходовать энергию надо бережно; по окончании работы прибор следует немедленно выключить.

Хранить элементы рекомендуется в сухих, вентилируемых помещениях, при температуре, близкой к 0° С. Нельзя допускать резких изменений температуры в хранилище. Элементы стаканчикового типа следует держать в вертикальном положении, с тем чтобы предотвратить возможное оплывание заливочной смолки и вытекание электролита.

Элементы должны быть всегда чистыми, иначе может быть утечка токов саморазряда.

§ 6. Батареи элементов

В практике часто требуется напряжение значительно больше того, каким обладает один гальванический элемент. В таких случаях соединяют вместе несколько элементов и получают батарею.

При последовательном соединении элементов (рис. 63) э. д. с. батареи равна сумме электродвижущих сил отдельных элементов:

$$E_{общ} = E_1 + E_2. \qquad (108)$$

Емкость батареи ограничивается тем элементом, у которого она наименьшая. Поэтому последовательно целесообразно включать элементы с одинаковой емкостью, как это делается, например, в приборах ДП-63-А, ДП-5, ДП-12.

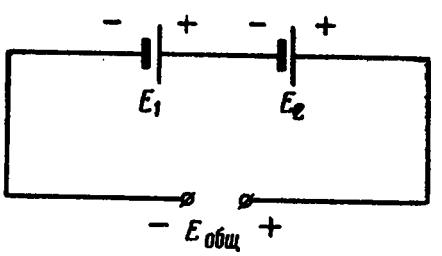


Рис. 63. Схема последовательного соединения элементов

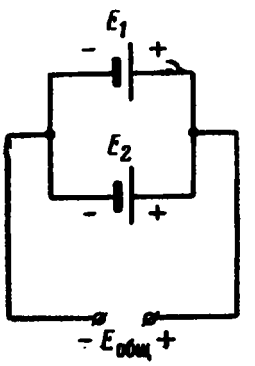


Рис. 64. Схема параллельного соединения элементов

В тех случаях, когда требуется получить емкость больше той, которой обладает элемент, гальванические элементы соединяют параллельно (рис. 64):

$$E_{общ} = E_1 = E_2. \qquad (109)$$

Категорически запрещается соединять параллельно элементы с различной э. д. с., так как это приведет к разряду элемента с большей э. д. с. через элемент с меньшей э. д. с.

Электрическая емкость батареи равна сумме емкостей элементов:

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2. \qquad (110)$$

§ 7. Аккумуляторы

В гальванических элементах образующиеся во время разряда вещества не могут быть превращены в первоначальные активные массы, так как реакции идут в одну сторону. Поэтому такие элементы можно использовать один раз.

В практике широко применяются другие химические источники тока — аккумуляторы, в которых образовавшиеся после разряда вещества превращаются в первоначальные. Для этого через аккумулятор пропускают электрический ток от постороннего источника в направлении, обратном разрядному току.

Различают свинцовые (или кислотные), кадмиево-никелевые (или щелочные) и серебряно-цинковые аккумуляторы.

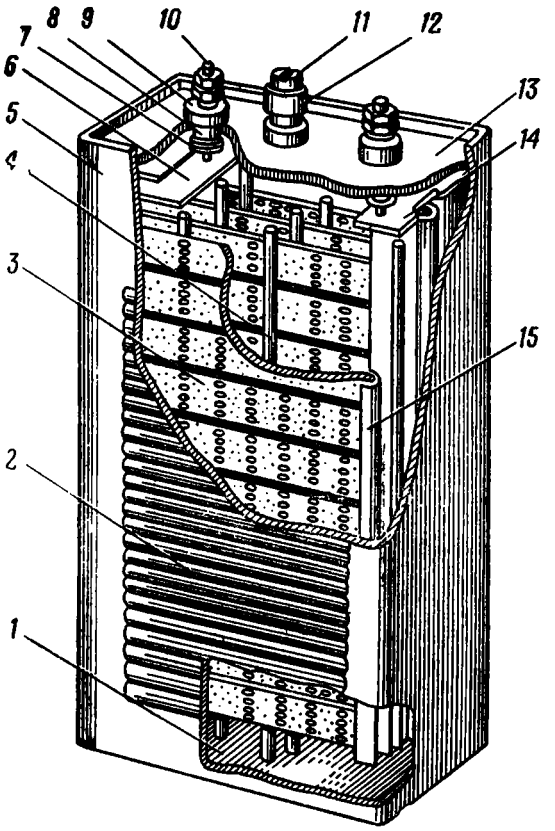


Рис. 65. Устройство щелочного аккумулятора:

1 — грязевое пространство; *2* — гофр на стенках сосуда; *3* — ламель; *4* — эбонитовая палочка (сепаратор); *5* — стальной сосуд, *6* — мостик положительного блока пластин; *7* — шайбы; *8* — резиновый сальник; *9* — эбонитовый колпачок, *10* — выводной борн; *11* — резьбовая пробка; *12* — резиновое вентильное кольцо; *13* — крышка сосуда; *14* — мостик отрицательного блока пластин; *15* — ребро пластины

Принцип действия аккумулятора аналогичен принципу действия гальванического элемента, т. е. в основу его работы положены окислительно-восстановительные реакции, проходящие раздельно на электродах. Электроны, освобождающиеся при окислительной реакции на отрицательном электроде, переходят по внешней части цепи на положительный электрод и в процессе восстановительной реакции расходуются на восстановление положительных ионов до нейтральных атомов.

В щелочном аккумуляторе (рис. 65) активная масса положительных пластин изготовлена из гидрата окиси никеля, а отрицательных — из металлического кадмия. Электролитом служит раствор едкого калия или едкого натрия. При разряде аккумулятора гидрат окиси никеля переходит в гидрат закиси никеля, а металлический кадмий — в гидрат закиси кадмия, т. е. протекает окислительно-восстановительная реакция. Когда через аккумулятор пропускается постоянный ток

(происходит заряд), химические реакции идут в обратном направлении. В конце заряда в пластинах аккумулятора образуются первоначальные вещества.

Весь токообразующий процесс можно представить в виде следующей формулы:

$$2\overset{\oplus}{Ni}(OH)_3 + \overset{\ominus}{Cd} \underset{\text{Заряд}}{\overset{\text{Разряд}}{\rightleftharpoons}} 2\overset{\oplus}{Ni}(OH)_2 + \overset{\ominus}{Cd}(OH)_2.$$

Электродвижущая сила одного аккумулятора — около 1,3 *в*.

При необходимости щелочные аккумуляторы соединяют в батареи. Параметры батареи указываются в маркировке: например, надпись «5-НКН-60» расшифровывается так: батарея состоит из пяти последовательно соединенных аккумуляторов, т. е. э. д. с. ее около 6 *в*; батарея накальная, кадмиево-никелевая; номинальная емкость батареи 60 *а-ч*.

Глава VIII

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Из всех видов измерений в настоящее время наибольшее развитие получили электрические. Они широко используются и для измерений неэлектрических величин, например давления, скорости, температуры, уровня радиации, дозы облучения и т. д. Электроизмерительные приборы являются одной из основных частей дозиметрической аппаратуры.

§ 1. Классификация электроизмерительных приборов

Приборы могут быть классифицированы по роду измеряемой величины, точности измерения, принципу действия и другим признакам.

По роду измеряемой величины приборы разделяют на амперметры, вольтметры, омметры, ваттметры, счетчики электрической энергии, частотомеры, фазометры и т. д.

По точности измерения приборы разделяются на восемь классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 и 4.

Числа классов точности обозначают числом, означающим наибольшие допустимые значения основной приведенной погрешности ($\Delta_п$). Псд этой величиной понимают основную относительную погрешность, выраженную в процентах к предельному (максимальному) значению шкалы измерительного прибора:

$$\Delta_п = \frac{\Delta_а}{A_{макс}} \cdot 100, \qquad (111)$$

где Δ_a — абсолютная погрешность измерительного прибора, равная разности между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины;

$A_{макс}$ — максимальное значение шкалы измерительного прибора.

По принципу действия различаются приборы магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, ферродинамические, индукционные, электростатические, вибрационные, тепловые, биметаллические.

§ 2. Маркировка электроизмерительных приборов

На лицевой стороне прибора, обычно на шкале, указываются (рис. 66): единица измеряемой величины, класс точности прибора, ГОСТ, по которому прибор изготовлен, род тока, система прибора,

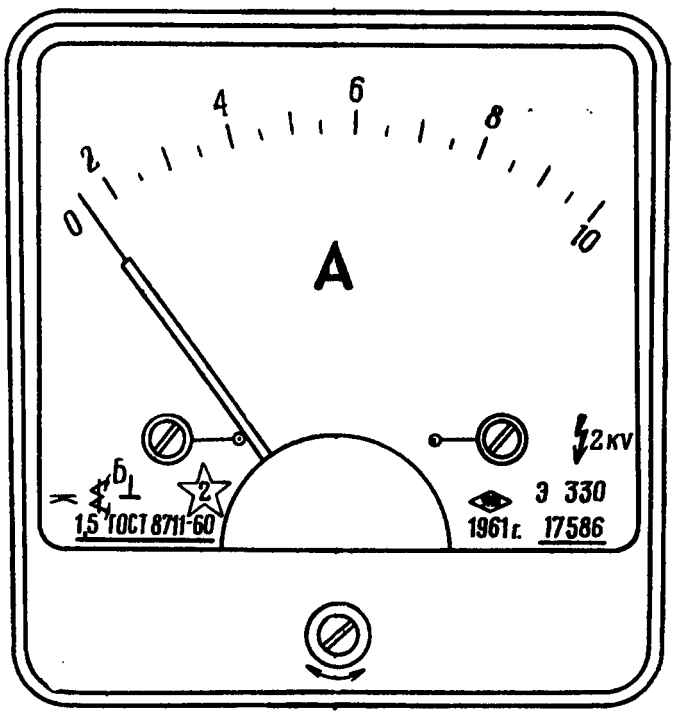


Рис. 66. Шкала электроизмерительного прибора

группа прибора по условиям эксплуатации, рабочее положение прибора, испытательное напряжение прочности электрической изоляции токоведущих частей прибора относительно его корпуса, тип прибора, год выпуска и заводской номер прибора, фабричная марка завода-изготовителя.

§ 3. Работа прибора магнитоэлектрической системы

Подвижная часть прибора перемещается за счет взаимодействия поля постоянного магнита с магнитным полем, создаваемым около обмотки проходящим по ней током. Подвижной частью могут быть как проводники с током, так и постоянные магниты.

Более распространены приборы с подвижной рамкой (рис. 67). Рамка помещается в воздушном зазоре, между полюсными наконечниками постоянного магнита и неподвижным стальным цилиндром, обеспечивающим однородное магнитное поле. Одновременно стальной цилиндр увеличивает напряженность магнитного поля в зазоре. Рамка состоит из алюминиевого корпуса прямоугольной формы, на который намотаны медный или алюминиевый провод диаметром 0,03—0,15 *мм*; она устанавливается на кернах в подпятниках из полудрагоценных камней (агат, рубин), что обеспечивает ей свободный поворот в воздушном зазоре. Ток к обмотке

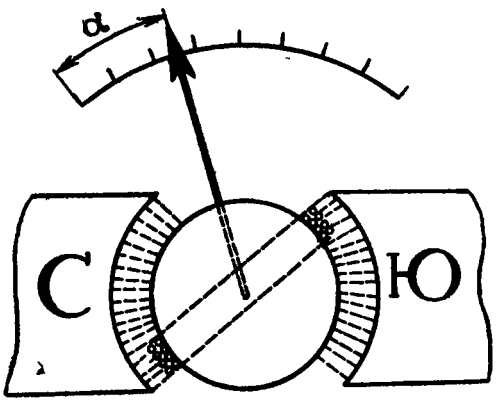


Рис. 67. Рамка с током в равномерном радиальном магнитном поле

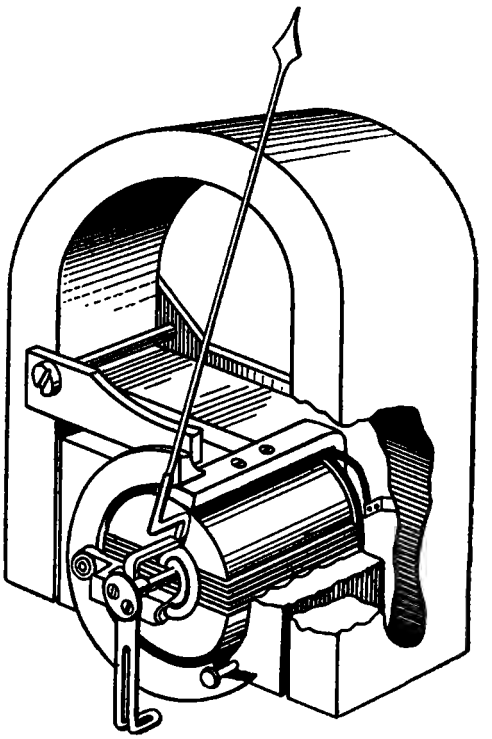


Рис. 68. Устройство прибора магнитоэлектрической системы

рамки подводится через спиральные пружины и внутренние пружинодержатели, к которым припаяны концы обмотки (рис. 68); спиральные пружины одновременно служат для создания противодействующего момента. Вращающий момент возникает при прохождении по обмотке рамки электрического тока, который создает около нее магнитное поле.

В результате взаимодействия поля рамки с полем постоянного магнита к каждой из сторон рамки окажется приложенной механическая сила F:

$$F = BIlw, \tag{112}$$

где B — магнитная индукция в воздушном зазоре;

I — сила тока, протекающего по обмотке;

l — длина рамки;

w — число витков обмотки.

Силы, приложенные к каждой из двух сторон рамки, одинаковы по величине, но противоположны по направлению, т. е. они образу-

ют пару сил, создающую вращающий момент $M_{вр}$. Если ширина рамки a, то

$$M_{вр} = 2F\frac{a}{2} = BIlwa. \tag{113}$$

Спиральные пружины, как указывалось выше, создают противодействующий момент, пропорциональный углу поворота α:

$$M_{пр} = K\alpha, \tag{114}$$

где K — коэффициент пропорциональности, называемый удельным противодействующим моментом.

При прохождении тока по обмотке подвижная часть под действием вращающего момента $M_{вр}$ поворачивается и, закручивая спиральную пружину, вызывает возрастание противодействующего момента $M_{пр}$. Когда рамка повернется на угол α, при котором вращающий и противодействующий моменты сравняются по величине, она остановится. Подвижная часть окажется в положении, соответствующем значению измеряемого тока. Тогда

$$M_{вр} = M_{пр} \text{ или } BIlwa = K\alpha. \tag{115}$$

Из уравнения (115) можно получить выражение угла α, на который рамка повернется при протекании по ее обмотке тока I:

$$\alpha = \frac{Blwa}{K} I. \tag{116}$$

Магнитная индукция B в зазоре, длина l и ширина a рамки, количество витков обмотки w и коэффициент K являются для данного прибора величинами постоянными и определяют чувствительность прибора S:

$$S = \frac{Blwa}{K}. \tag{117}$$

Из выражений (116) и (117) имеем:

$$\alpha = SI. \tag{118}$$

Из формулы (118) видно, что шкала магнитоэлектрического прибора равномерна, т. е. цена одного деления постоянна для всей шкалы при одинаковом расстоянии между рисками шкалы, ибо угол отклонения подвижной части прямо пропорционален току, протекающему по обмотке рамки.

Повысить чувствительность прибора, как это видно из выражения (117), можно за счет увеличения магнитной индукции в воздушном зазоре.

В современных приборах постоянные магниты изготовляются из высококачественных сплавов, включающих никель, алюминий, ко-

бальт. Магниты из этих сплавов обеспечивают увеличение индукции в зазоре в 2—4 раза по сравнению с магнитами, изготовленными из вольфрамовых и хромистых сталей, применявшихся ранее.

Для успокоения колебания стрелки прибора используют явление электродинамического торможения. В некоторых микроамперметрах, используемых в дозиметрических приборах, для торможения рамки во время переноски приборов обмотка микроамперметра замыкается накоротко при выключении прибора.

В каждом электроизмерительном приборе есть устройство для совмещения стрелки прибора с нулем шкалы (механический корректор). С этой целью конец спиральной пружины крепится не жестко к корпусу, а на конце рычага корректора. При повороте корректора изменяется натяжение спиральной пружины и, следовательно, положение стрелки прибора относительно шкалы.

Магнитоэлектрические приборы — самые точные из приборов всех систем и наиболее распространенные в цепях постоянного тока. Они обладают следующими преимуществами: высокой точностью и чувствительностью, равномерностью шкалы, малым собственным потреблением энергии и малой чувствительностью к внешним магнитным полям. К недостаткам этих приборов следует отнести то, что они пригодны только для постоянного тока, сложны по конструкции и дороги в производстве.

§ 4. Схема включения прибора для измерения силы тока

Для измерения силы тока все электричество необходимо пропустить через измерительный прибор. Поэтому прибор должен включаться в разрыв цепи, т. е. последовательно с нагрузкой.

На продвижение электронов по обмотке самого прибора затрачивается часть э. д. с. Это вызывает уменьшение напряжения на потребителе и приводит к уменьшению силы тока в цепи. Таким образом, после включения прибора в цепи происходят искажения. Чем меньшим сопротивлением обладает прибор, тем меньше будут искажения в цепи при его включении.

Амперметры изготовляются с минимальным сопротивлением. Отсюда следует, что включать их в цепь можно только с последовательно включенной нагрузкой (рис. 69). В противном случае амперметр выйдет из строя.

В приборах магнитоэлектрической системы через обмотку рамки пропускаются незначительные токи: 0,1—10 *ма* (в вольтметрах) и 0,1—100 *ма* (в амперметрах). В практике приходится измерять значительно большие токи. Поэтому для расширения пределов измерения амперметра применяют шунт — постоянный резистор, обычно с очень малым сопротивлением, к которому параллельно присоединяется обмотка амперметра (рис. 70).

Сопротивление шунта находят так. Силы токов в обмотке амперметра и шунте обратно пропорциональны их сопротивлениям:

$$\frac{I_a}{I_ш} = \frac{R_ш}{R_a}. \qquad (119)$$

В точке разветвления общая сила тока равна сумме токов амперметра и шунта:

$$I = I_a + I_ш. \qquad (120)$$

Если сила тока, которую надо измерить, в n раз больше предельной силы тока амперметра, т. е. $I = nI_a$, то из уравнения (120)

$$I_ш = I - I_a = nI_a - I_a = I_a(n-1). \qquad (121)$$

Подставив это выражение в формулу (119), получим

$$\frac{1}{n-1} = \frac{R_ш}{R_a},$$

откуда

$$R_ш = \frac{R_a}{n-1}. \qquad (122)$$

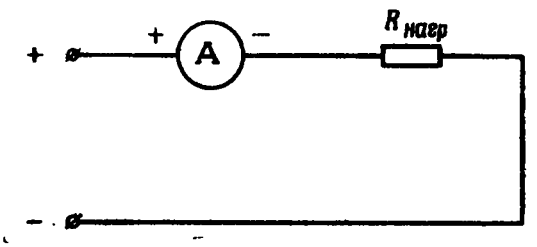


Рис. 69. Схема включения амперметра

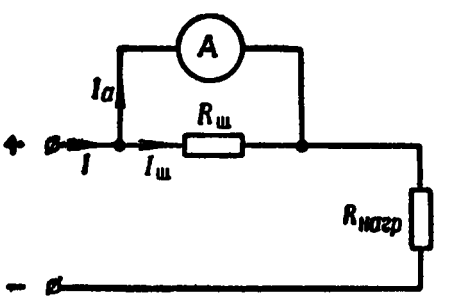


Рис. 70. Схема включения амперметра с шунтом

Например, микроамперметром с пределом измерения до 100 *мка* и сопротивлением обмотки 1 *ком* надо измерить ток до 20 *ма*. Требуется определить сопротивление шунта.

В этом случае

$$n = \frac{I}{I_a} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-6}} = 200.$$

Следовательно,

$$R_ш = \frac{R_a}{n-1} = \frac{1000}{200-1} = \frac{1000}{199} \approx 5 \text{ ом}.$$

С помощью шунтов можно создавать приборы на несколько пределов измерения (многопредельные амперметры). При работе с таким прибором надо учитывать, что цена деления его шкалы раз-

лична для каждого предела измерений. Поэтому перед началом измерений определяется цена деления шкалы для данного поддиапазона. Для этого наибольшее значение поддиапазона надо разделить на число делений шкалы.

§ 5. Схема включения прибора для измерения напряжений

Поскольку напряжение есть разность потенциалов двух точек, для его измерения прибор надо подключать к обоим концам участка, т. е. параллельно участку (рис. 71).

Между амперметром и вольтметром нет принципиальной разницы, показания обоих приборов пропорциональны току, протекающему по рамке. Однако, если амперметр должен иметь возможно меньшее сопротивление, то вольтметр — возможно большее. Чем больше сопротивление вольтметра, тем меньше искажений в цепи при его включении. Практически сопротивление вольтметра должно превышать сопротивление участка, на котором измеряется падение напряжения, не менее чем в 10 раз. Так как сопротивление обмотки рамки вольтметра сравнительно невелико, то последовательно с прибором включается добавочное сопротивление (резистор располагается обычно внутри вольтметра). Это позволяет расширить пределы измерения вольтметра и создать многопредельные приборы. Например, в комплекте ДП-23-А путем переключения добавочных сопротивлений одним и тем же прибором измеряют напряжения порядка 1 *в* в цепи накала лампы и 100 *в* в цепи заряда дозиметра.

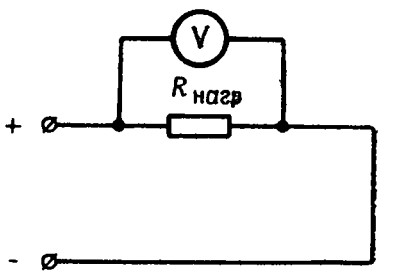


Рис. 71. Схема включения вольтметра

§ 6. Омметр

Прибор, предназначенный для измерения сопротивлений, называется омметром.

По закону Ома при постоянном напряжении сопротивление участка обратно пропорционально силе тока, проходящего через него. Поскольку непосредственно измерять сопротивление довольно сложно, измеряется обычно сила тока, а уже по ней определяется величина сопротивления. Следовательно, омметр должен иметь собственный источник тока (часто используются гальванические элементы).

Чтобы уменьшение напряжения, неизбежное при разряде элементов, не сказывалось на точности измерений, отсчет производится всегда от одного и того же начального положения стрелки миллиамперметра, принятого за нуль шкалы омметра. Исходное положение стрелки прибора перед началом измерений устанавливается с помощью переменного резистора, ручка которого выводится наружу и называется «Установка нуля».

Принципиальная схема омметра при различных режимах работы показана на рис. 72. При разомкнутых зажимах омметра, т. е. когда величина сопротивления бесконечно большая, тока в цепи омметра нет. Это положение стрелки прибора обозначается на шкале знаком ∞ (бесконечности). При замкнутых накоротко зажимах омметра сопротивление между ними равно нулю, а ток в цепи наибольший. Переменным резистором R устанавливается такой

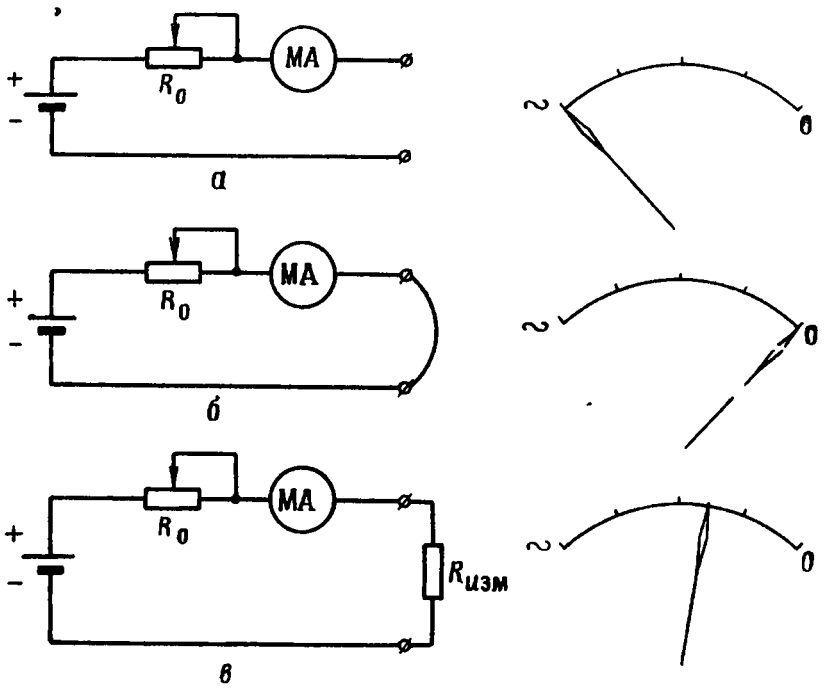


Рис. 72. Принципиальная схема омметра при различных режимах работы:

а — сопротивление на зажимах бесконечно большое; *б* — сопротивление на зажимах равно нулю; *в* — измеряемое сопротивление имеет конечную величину

ток, который бы не превышал предельно допустимый для данного миллиамперметра; при этом стрелка отклоняется до крайнего правого деления шкалы, обозначаемого нулем. При подключении к зажимам омметра резистора с определенным сопротивлением стрелка прибора займет какое-то промежуточное положение между нулем и бесконечностью: чем, например, меньше сопротивление резистора, тем больше сила тока в цепи омметра и тем ближе к нулю стрелка прибора.

Следует иметь в виду, что, поскольку между сопротивлением и силой тока существует обратная зависимость, цена деления шкалы различна для различных участков шкалы.

§ 7. Комбинированные приборы

Как было показано выше, принцип измерения силы тока, напряжения и сопротивления один и тот же. Следовательно, можно создать единый прибор для измерения всех этих трех величин. Такой

комбинированный прибор разработан, он называется ампервольтомметром (авометром). Если прибор снабдить выпрямительным элементом, например меднозакисным выпрямителем или германиевым диодом, то им можно будет измерять не только постоянный, но и переменный ток.

Для удобства и точности измерений авометры имеют несколько поддиапазонов за счет шунтов и добавочных резисторов. Шунты и добавочные резисторы, необходимые на данном поддиапазоне, подсоединяются в зависимости от конструкции прибора с помощью либо переключателей, либо штекеров, которые вставляются в необходимое гнездо.

Шкала авометра градуируется условно и, как правило, в несколько рядов. Поэтому прежде чем снимать отсчеты на данном поддиапазоне, необходимо определить цену деления шкалы, а при использовании прибора в качестве омметра, кроме того, надо совместить стрелку с нулем шкалы при накоротко замкнутых штекерах вращением ручки «Установка нуля».

Глава IX

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

§ 1. Общее устройство электронных ламп и их свойства

Электронная лампа представляет собой электровакуумный прибор с термоэлектронным катодом и управляемым током. Она предназначена для различного рода преобразований электрической энергии.

Основной частью лампы (рис. 73) является система электродов (катод, сетка и анод), расположенных внутри баллона, из которого выкачан воздух. Благодаря глубокому вакууму электроны беспрепятственно движутся от катода к аноду. Электрод, предназначенный для испускания свободных электронов, называется катодом. Анодом является электрод, принимающий основной поток электронов, вылетающих из катода; он представляет собой полое металлическое тело, внутри которого размещаются остальные электроды. Сетки, располагающиеся между катодом и анодом, выполняют роль управляющих электродов; они представляют собой спирали из металлической проволоки. Через просветы между витками сетки электроны, испускаемые катодом, проходят к аноду. Сетки практически не представляют для электронов механической преграды.

Электроды монтируются на стеклянной ножке, через которую выводы от них присоединяются к штырькам цоколя. Слюдяные пла-

стины фиксируют положение системы электродов внутри баллона. Стеклянная ножка сваривается с баллоном. Поглотитель поддерживает высокий вакуум в течение всего времени работы лампы, остаточное давление внутри баллона не превышает одной миллионной доли миллиметра ртутного столба. На траверсах управляющей сетки располагаются охлаждающие пластины.

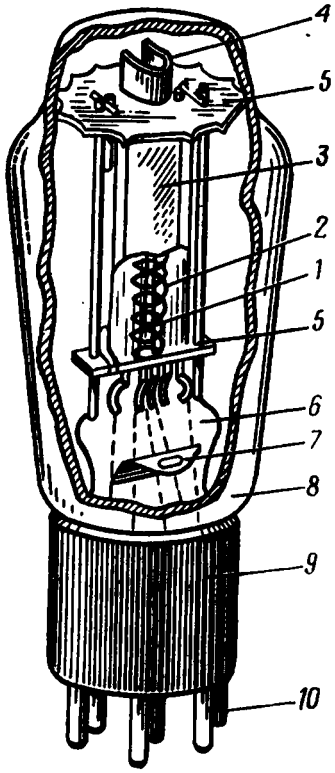


Рис. 73. Устройство электронной лампы: *1* — катод; *2* — сетка; *3* — анод; *4* — охлаждающая пластина; *5* — слюдяные пластины; *6* — стеклянная ножка; *7* — поглотитель; *8* — баллон; *9* — цоколь; *10* — штырек

Электронные лампы классифицируются по количеству электродов, мощности, диапазону частот, применению.

По количеству электродов различают: двухэлектродные (диоды), трехэлектродные (триоды), четырехэлектродные (тетроды) и пятиэлектродные (пентоды) лампы. Для преобразования частоты используются лампы с четырьмя (гепсоды), пятью (гептоды) и с шестью сетками (октоды). Иногда в один баллон помещают две — три системы электродов с независимыми друг от друга потоками электронов; такие лампы называются комбинированными, например: двойной диод или кенотрон; двойной триод; триод — пентод; диод — пентод и т. д.

По мощности различают маломощные (порядка ватт) лампы, которые применяются главным образом в радиоприемных и измерительных схемах, и мощные лампы (киловаттные, при работе в импульсном режиме они отдают тысячи киловатт в импульсе), которые используются в радиопередающих устройствах.

В зависимости от диапазонов частот лампы разделяются на низкочастотные, высокочастотные и сверхвысокочастотные.

По назначению различают усилительные, генераторные, модуляторные, частотнопреобразовательные, выпрямительные и измерительные лампы.

Электронные лампы выгодно отличаются от приборов других типов. Они обладают высокой чувствительностью, поскольку электронный ток в них управляется с помощью электрического поля. Мощность, требующаяся для этого, очень мала. Поэтому лампы реагируют на малейшее изменение напряжения. Например, во многих устройствах автоматики достаточно иметь напряжение лишь несколько миллионных долей вольта.

Электронные лампы безынерционны, так как масса электрона ничтожна. Многие электронные устройства срабатывают в миллионные доли секунды. Используя лампы в усилительных каскадах, можно усилить мощность электрического сигнала в миллиард раз.

В электронных лампах нет скользящих и изнашивающихся деталей. Электронные приборы работают бесшумно и имеют малые габариты и вес.

§ 2. Электронная эмиссия

Электроны, находящиеся внутри металла, при определенных условиях могут преодолеть притяжение других частиц металла и вылететь из него в окружающее пространство. Это явление называется эмиссией. Оно приводит к тому, что положительных зарядов внутри металла становится больше, чем отрицательных, и поэтому он заряжается положительно. При этом на поверхности проводника возникает потенциальный барьер, препятствующий выходу из металла других электронов.

Для того чтобы электрон смог преодолеть потенциальный барьер и выйти из металла, ему необходимо сообщить дополнительную энергию в несколько электронвольт. Эту дополнительную энергию, равную работе электрона на пути его выхода из металла через потенциальный барьер, называют работой выхода. Работа эта зависит от структуры и характера поверхности металла. Величина работы выхода для металлов, применяемых в электронных приборах, приведена в табл. 6.

Таблица 6

ВЕЛИЧИНА РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ МЕТАЛЛА

Металл	Величина работы выхода, *эв*
Цезий	1,81
Барий	2—2,52
Торий	3,38
Молибден	4,4
Вольфрам	4,42

Чтобы произошла термоэлектронная эмиссия, катод надо разогреть. Для этого через него пропускается электрический ток; тем самым электронам сообщается дополнительная энергия, скорость их движения возрастает и, следовательно, увеличивается кинетическая энергия. Когда кинетическая энергия электрона, находящегося в металле, превысит работу выхода $A_{вых}$, он покинет металл. Термоэлектронная эмиссия возможна, если удовлетворяется следующее условие:

$$\frac{mv^2}{2} > A_{вых}. \qquad (123)$$

При комнатной температуре лишь единичные электроны способны вырваться за пределы металла. Чтобы термоэлектронная эмиссия была значительной, металлы необходимо нагревать до 1—2 тыс. градусов.

Зависимость величины термоэлектронной эмиссии от температуры для различных металлов показана на рис. 74. По вертикальной оси графика откладывается плотность тока термоэлектронной эмиссии $I_т$, т. е. количество электронов, уходящих с 1 $см^2$ поверхности металла; по горизонтальной оси — температура металла

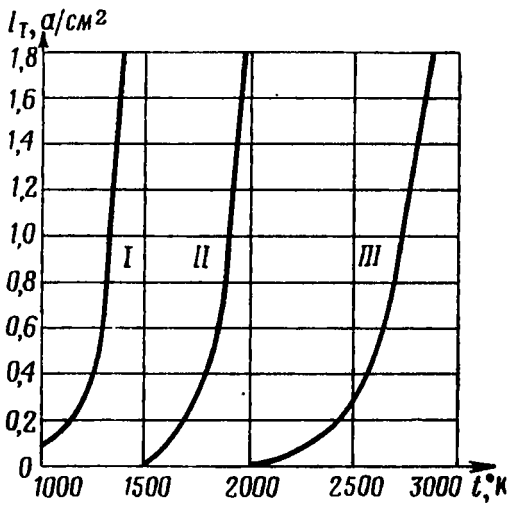


Рис. 74. Зависимость удельного тока эмиссии от температуры:
I — оксидный катод; II — вольфрамовый катод, покрытый торием; III — катод из чистого вольфрама

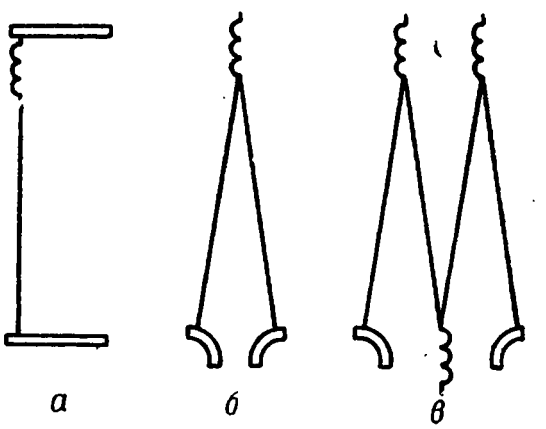


Рис. 75. Конструкция катодов прямого накала типа натянутой нити:
а — нить; *б* — Л-образный; *в* — М-образный

в градусах абсолютной шкалы. Из графика видно, что у вольфрамовых катодов заметная эмиссия наступает при температурах более 2500°, а у оксидных катодов, т. е. покрытых слоем окиси бария, стронция, кальция и других металлов, — при температуре 700—900°.

Катоды, изготовленные из чистого вольфрама, называются простыми. Они применяются главным образом в мощных генераторных лампах. Более экономичны из-за меньшей температуры нагрева активированные катоды, у которых на металлический стержень наносится слой металла, обладающий меньшей работой выхода электронов по сравнению с вольфрамом.

Катоды прямого накала (рис. 75) нагреваются током, пропускаемым непосредственно через них. Чтобы эмиссия электронов из катода была постоянна, пропускаемый ток также должен быть постоянным, поскольку с изменением его изменится температура катода, а следовательно, и эмиссия электронов.

Однако в связи с тем что в практике широко распространен переменный ток, во многих случаях удобнее использовать его.

А. А. Чернышев в 1918 г. предложил конструкцию катода косвенного накала (рис. 76). Устройство представляет собой керамический или алундовый цилиндр, внутри которого располагается вольфрамовая нить подогрева. На цилиндр плотно насажена никелевая трубка, покрытая активированным слоем, которая собственно и представляет собой катод. Поскольку цилиндр имеет большую тепловую инерционность, температура катода остается постоянной при питании переменным током. Катод косвенного накала обладает большой механической надежностью и не боится вибраций. Его недостатки — это сравнительно большая потребляемая мощность на накал (2—4 *вт*) и продолжительное время прогрева катода до рабочей температуры (30—90 *сек*).

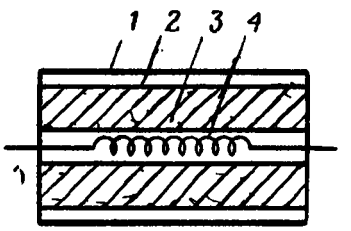


Рис. 76. Конструкция катода косвенного накала:

1 — активированный слой; *2* — катод; *3* — керамический цилиндр; *4* — нить накала

Металлы могут испускать электроны не только при нагревании, но и при освещении их поверхности светом. Такая эмиссия называется фотоэлектронной. Свет действует на поверхность отдельными порицами энергии — квантами. При поглощении электроном кванта света часть энергии, равная по величине работе выхода, идет на преодоление потенциального барьера металла, а остальная энергия кванта преобразуется в кинетическую энергию электрона.

При падении электронов на металл удар может оказаться достаточно сильным для выбивания с поверхности электронов, называемых вторичными. Поверхность, излучающую такие электроны, называют эмиттером, а само явление — вторичной электронной эмиссией. В некоторых случаях количество выбитых с эмиттера вторичных электронов может превосходить число первичных электронов или ионов, падающих на эмиттер.

Вторичная электронная эмиссия вредна, когда она нарушает работу лампы, создавая ток, направленный навстречу основному потоку электронов. В этом случае для уменьшения вредного влияния вторичной эмиссии применяется ряд мер, например в систему электродов лампы добавляют защитную сетку. Вместе с тем вторичная электронная эмиссия может быть использована с большой пользой, например в фотоумножителях, находящих применение, в частности, в дозиметрической аппаратуре, а также в газонаполненных лампах для эмиссии электронов с холодного катода при бомбардировке его положительными ионами.

§ 3. Двухэлектродная лампа

Двухэлектродная лампа (диод) имеет два электрода: катод и анод. Источником электронов служит раскаленный катод, питающийся от отдельного источника тока.

Принцип действия диода заключается в том, что при подаче анодного напряжения между анодом и катодом создается электрическое поле, которое воздействует на вылетающие из катода электроны. Если к аноду приложен положительный потенциал, а к катоду — отрицательный, то электроны устремляются к аноду. При изменении полярности анодного напряжения электроны отталкиваются анодом и поэтому направленное движение электронов в лампе отсутствует. В этом проявляется важнейшее свойство диода — односторонняя проводимость, находящая широкое применение для выпрямления и других преобразований электрических колебаний.

На схеме включения диода (рис. 77) показаны две самостоятельные цепи: цепь накала и анодная цепь.

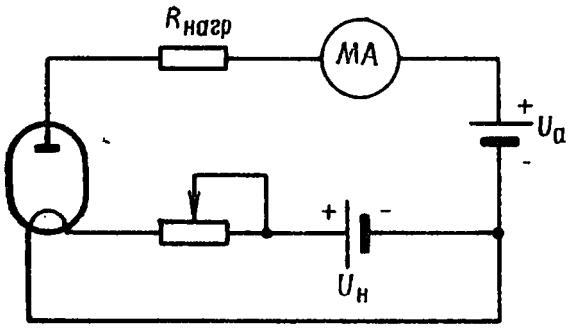


Рис. 77. Схема включения диода

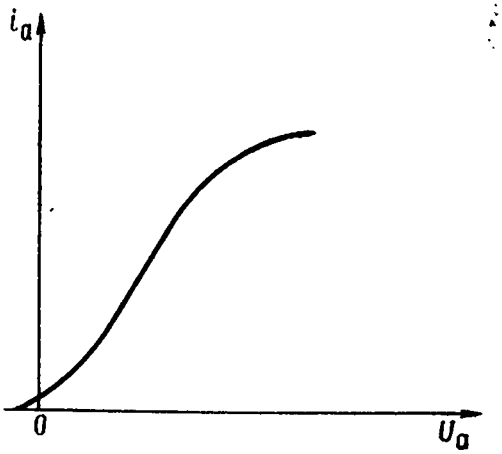


Рис. 78. Вольтамперная характеристика диода

Анодный ток проходит по цепи следующим путем: положительный зажим источника анодного тока $U_а$, миллиамперметр, резистор нагрузки $R_{нагр}$, анод лампы, катод лампы, отрицательный зажим источника тока $U_а$. Направление анодного тока условно принято от положительного зажима источника тока.

Изменение анодного тока в зависимости от величины и полярности анодного напряжения иллюстрируется вольтамперной характеристикой диода (рис. 78). По вертикальной оси откладывается сила анодного тока, а по горизонтальной — величина анодного напряжения. Вольтамперные характеристики снимаются при постоянном напряжении накала.

Наличие анодного тока при отсутствии анодного напряжения и даже при небольшом отрицательном анодном напряжении объясняется тем, что электроны вылетают из катода с некоторыми начальными скоростями, т. е. обладают определенным запасом энергии, который у отдельных электронов оказывается достаточным, чтобы достигнуть анода. По мере увеличения напряжения между анодом и катодом анодный ток возрастает, затем при каком-то значении напряжения рост его замедляется, а потом и совсем прекращается. Наступает насыщение анодного тока.

Вольтамперная характеристика диода показывает, что возрастание тока непропорционально росту напряжения, т. е. закон Ома здесь не соблюдается. Это объясняется тем, что при отсутствии анодного напряжения раскаленный катод окружен электронами, которые не могут уйти от положительно заряженного по отношению к ним катода. Часть электронов даже притягивается к катоду, но на их место из него вылетают другие электроны. Наступает динамическое равновесие, при котором число электронов, притянутых к катоду, равно числу электронов, испускаемых катодом.

Электроны, окружающие катод, получили название электронного облака. Это облако обладает отрицательным объемным зарядом, который препятствует выходу из катода других электронов. По мере увеличения положительного потенциала на аноде при возрастании анодного напряжения электронное облако и его объемный заряд постепенно уменьшаются до нуля, обеспечивая тем самым увеличение анодного тока.

В области насыщения анодный ток равен току эмиссии, так как электронное облако катода отсутствует, а все электроны, вылетающие из катода, попадают на анод. При дальнейшем увеличении анодного напряжения сила тока не возрастает и ограничивается только величиной эмиссии, которая остается постоянной ввиду неизменного напряжения накала. При другой, более высокой температуре катода ток эмиссии будет больше и насыщение наступит при более высоком анодном напряжении.

Важнейшее свойство диода — односторонняя проводимость — используется для преобразования переменного тока в пульсирующий. Рассмотрим этот процесс на примере лампового выпрямителя (рис. 79). Лампа имеет катод косвенного накала. Нить накала питается переменным током от небольшой вспомогательной обмотки трансформатора, подающей напряжение 5—6 *в*. Концы вторичной обмотки трансформатора подключены через резистор нагрузки к аноду и катоду диода. В течение положительного полупериода к аноду приложен положительный потенциал, а к катоду — отрицательный, что обеспечивает прохождение тока в анодной цепи. Анодный ток, проходя по резистору нагрузки $R_{\text{нагр}}$, создает на нем падение напряжения:

$$U_{\text{нагр}} = i_a R_{\text{нагр}}. \qquad (124)$$

По истечении полупериода, т. е. через 0,01 *сек* при стандартной частоте 50 *гц*, полярность приложенного к диоду напряжения изменится на обратную. При отрицательном потенциале на аноде электроны начинают отталкиваться и прохождение тока через лампу прекращается. С исчезновением тока в анодной цепи перестает создаваться падение напряжения на сопротивлении нагрузки. По окончании отрицательного полупериода начинается положительный полупериод, и процесс повторяется (рис. 80).

Если необходимо сгладить пульсацию тока, используют электрические фильтры.

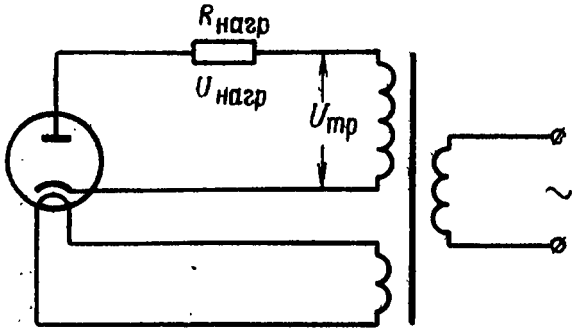


Рис. 79. Схема лампового однополупериодного выпрямителя

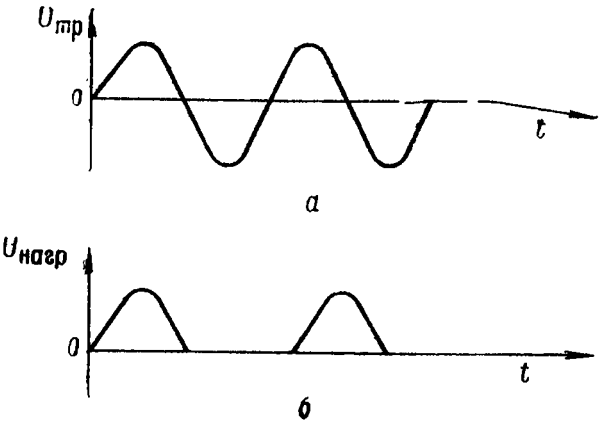


Рис. 80. График изменения напряжения на входе (*а*) и на выходе (*б*) выпрямителя

§ 4. Трехэлектродная лампа

Трехэлектродная лампа (триод) имеет катод, анод и управляющую сетку, расположенную между ними (ближе к катоду).

Поскольку сетка расположена у катода, ее электрическое поле, как следует из закона Кулона, сильнее воздействует на электроны, эмиттируемые катодом, чем электрическое поле анода. Таким образом, небольшие изменения напряжения сетки вызывают значительные изменения анодного тока при незначительной затрате мощности сигнала, поступающего на сетку.

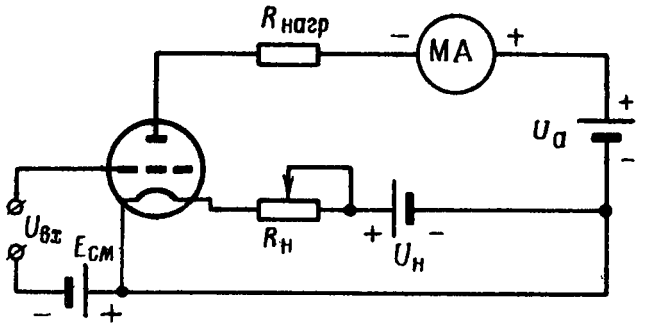


Рис. 81. Схема включения триода

Поскольку в лампе три электрода, в ней имеется три самостоятельные цепи: накала, анодная, управляющей сетки (рис. 81). Накальный ток проходит по такому пути: плюс источника питания накала $U_н$, реостат цепи накала $R_н$, нить накала (катод), минус источника питания. Путь анодного тока: положительный вывод источника питания $U_а$, миллиамперметр, резистор нагрузки $R_{нагр}$, участок анод — катод лампы, отрицательный вывод источника питания. Заметный ток в цепи сетки имеет место лишь в случае, когда на нее подается положительный потенциал, а на катод — отрицательный; при отрицательном по отношению к катоду потенциале на сетке электроны отталкиваются ею и поэтому ток на участке сетка — катод практически отсутствует.

Для правильной работы электрических схем некоторых дозиметрических приборов очень важно, чтобы в цепи сетки не было тока. Например, в приборах ДП-2 и ДП-23-А прибегают к специальным мерам, которые обеспечивают отсутствие в цепи управляющей сетки даже самого минимального тока.

Для выяснения свойств трехэлектродной лампы рассмотрим анодно-сеточную характеристику триода.

Анодно-сеточной характеристикой триода называется зависимость анодного тока от напряжения на управляющей сетке лампы при постоянных напряжениях накала и анода, т. е.

$$i_a = f(U_c) \qquad (125)$$

при $U_н$ и U_a=const.

Несколько кривых, снятых для одной лампы при различных значениях анодного напряжения, называется семейством анодно-сеточных характеристик.

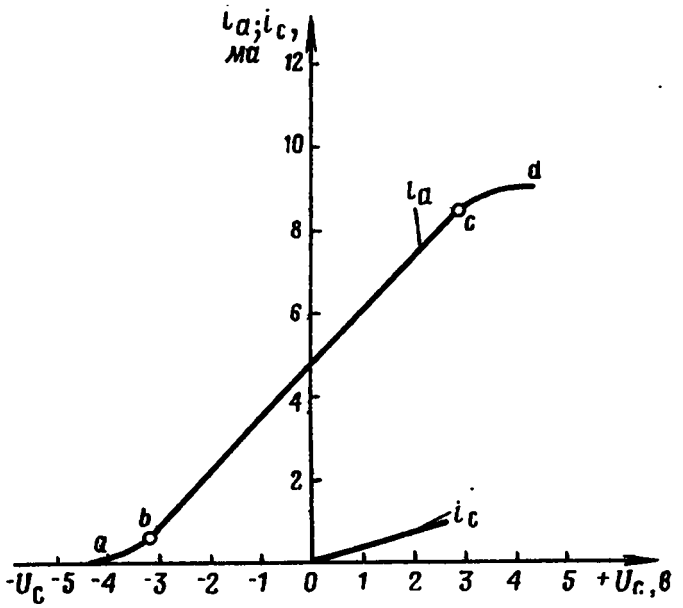


Рис. 82. Анодно-сеточная характеристика триода

На графике анодно-сеточной характеристики триода (рис. 82) отчетливо видны три участка: нижний криволинейный *a*—*b*, средний прямолинейный *b*—*c* и верхний криволинейный *c*—*d*. Криволинейность участка *a*—*b* обусловливается наличием больших отрицательных потенциалов на сетке, когда отталкивающее действие сетки на электроны сказывается очень сильно, вследствие чего анодный ток возрастает медленно и неравномерно. На участке *b*—*c* ток увеличивается пропорционально росту напряжения на сетке; это одно из важнейших свойств триода. Начиная с точки *c* скорость роста анодного тока уменьшается, а при дальнейшем увеличении напряжения рост тока совсем прекращается.

Насыщение анодного тока лампы объясняется тем, что увеличение напряжения на сетке вызывает рост не только анодного, но

и сеточного тока i_c. Как видно из рис. 82, с ростом потенциала сетки ток в цепи сетки возрастает. Благодаря постоянству напряжения накала катод испускает каждую секунду одно и тоже количество электронов. Если из них на управляющую сетку станет попадать больше электронов, то на долю анода остается соответственно меньшее количество электронов. С увеличением положительного потенциала сетки сеточный ток возрастает, а анодный уменьшается.

Точка *a*, называемая точкой запирания, соответствует такому отрицательному потенциалу на сетке, при котором ни один электрон, вылетевший из катода, не может попасть на анод и когда анодный ток через лампу не проходит, т. е. лампа находится в запертом состоянии.

Начальной рабочей точкой называют точку, соответствующую силе анодного тока при отсутствии напряжения входного сигнала. Напряжение на сетке, соответствующее рабочей точке, называется напряжением смещения. Оно создается включением в цепь управляющей сетки автономного источника тока. Подавая на управляющую сетку различное напряжение смещения, можно смещать рабочую точку в любой участок анодно-сеточной характеристики. К примеру, в дозиметрических приборах ДП-2 и ДП-23-А начальная рабочая точка находится в начале прямолинейного участка анодно-сеточной характеристики в окрестности точки *b*. При работе прибора используется лишь часть прямолинейного участка, лежащая левее вертикальной оси. Таким образом, лампы в указанных дозиметрических приборах работают только при отрицательных потенциалах на управляющей сетке.

Трехэлектродная лампа имеет три параметра: крутизну анодно-сеточной характеристики, внутреннее сопротивление и коэффициент усиления лампы. Для определения параметров триода собирается схема (рис. 83) и снимаются показания приборов, необходимые для построения анодно-сеточных характеристик. Затем подсчитываются параметры.

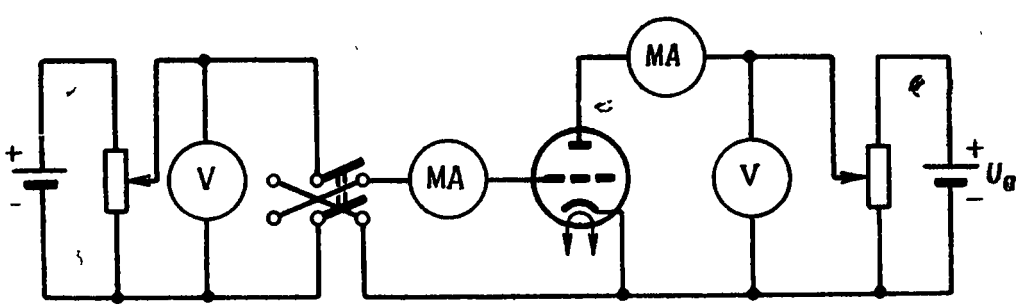


Рис. 83. Схема для снятия анодно-сеточных характеристик триода

Крутизна характеристики показывает, на сколько миллиампер изменяется анодный ток при изменении напряжения на сетке на 1 *в*:

$$S = \frac{\Delta i_a}{\Delta U_c} \; ма/в. \qquad (126)$$

Крутизна определяется для прямолинейного участка анодно-сеточной характеристики, потому что только для него она будет постоянна.

Внутренее сопротивление лампы определяется как отношение изменения анодного напряжения к изменению анодного тока при постоянном сеточном напряжении, т. е.

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta i_a} \; ом \tag{127}$$

при $U_c = \text{const}$.

Например, для вычисления R_i триода, анодно-сеточные характеристики которого изображены на рис. 84, проводится вертикальная линия, соответствующая какому-то значению сеточного напряжения (допустим 1 *в*). Вертикаль пересекается с характеристикой, снятой при анодном напряжении $U_{a1} = 50\,в$ в точке, соответствующей анодному току $i_{a_1} = 3{,}5\,ма$, а с характеристикой при анодном напряжении $U_{a_2} = 150\,в$ — в точке, соответствующей анодному току $i_{a_2} = 5{,}5\,ма$. Следовательно,

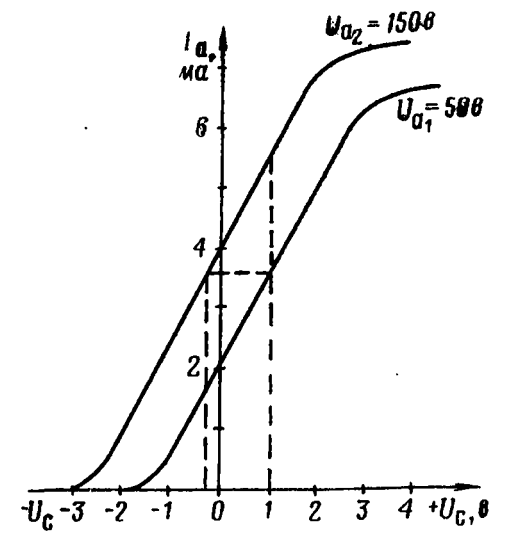


Рис. 84. Семейство анодно-сеточных характеристик триода

$$\Delta U_a = U_{a_2} - U_{a_1} = 150 - 50 = 100\;в;$$

$$\Delta i_a = i_{a_2} - i_{a_1} = 5{,}5 - 3{,}5 = 2\;ма.$$

Тогда

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta i_a} = \frac{100}{2 \cdot 10^{-3}} = 50 \cdot 10^3\; ом = 50\; ком.$$

Коэффициент усиления триода μ показывает, на сколько сильнее воздействует на анодный ток изменение напряжения на сетке по сравнению с изменением анодного напряжения. Он равен отношению приращений анодного напряжения к сеточному, которые вызывают одно и то же изменение анодного тока:

$$\mu = -\frac{\Delta U_a}{\Delta U_c} \tag{128}$$

при $i_a = \text{const}$.

Например, из рис. 84 видно, что при постоянном сеточном напряжении $U_c = 1\,в$ увеличение анодного напряжения с 50 до 150 *в* вызвало возрастание анодного тока с 3,5 до 5,5 *ма*. То же изменение тока с 5,5 до 3,5 *ма* при постоянном напряжении $U_a = 150\,в$ будет

достигнуто уменьшением сеточного напряжения с +1 *в* до —0,3 *в*. Следовательно, используя уравнения (128), получим

$$\mu = -\frac{\Delta U_a}{\Delta U_c} = -\frac{U_{a_2} - U_{a_1}}{U_{c_2} - U_{c_1}} = -\frac{150 - 50}{-0{,}3 - (+1)} = -\frac{100}{-1{,}3} \approx 77.$$

Современные триоды имеют параметры в следующих пределах: крутизну характеристики S — от 1,25 до 6 *ма/в*, внутреннее сопротивление R_i — от 1 до 100 *ком*, коэффициент усиления μ — от 2 до 100.

Перемножив выражения (126) и (127), получим

$$SR_i = \frac{\Delta i_a}{\Delta U_c} \cdot \frac{\Delta U_a}{\Delta i_a} = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c},$$

т. е.

$$SR_i = \mu. \qquad (129)$$

Следовательно, зная две величины, можно подсчитать третью.

Триоды часто используются в усилительных устройствах. Схема простейшего усилительного каскада изображена на рис. 85. В анодную цепь включен резистор нагрузки $R_{нагр}$, а в цепь сетки — резистор утечки R_c с сопротивлением около 1 *Мом*, предназначенный для отвода электронов, попавших на сетку, к катоду. Если резистор утечки отключить, то на сетке начнут накапливаться электроны, отрицательный заряд которых может совсем запереть триод. При наличии в анодной цепи нагрузки анодное напряжение не будет равняться напряжению анодной батареи, так как проходящий по резистору нагрузки анодный ток создаст на нем падение напряжения. По закону последовательного соединения напряжение анодной батареи распределится между лампой и нагрузкой пропорционально их сопротивлениям:

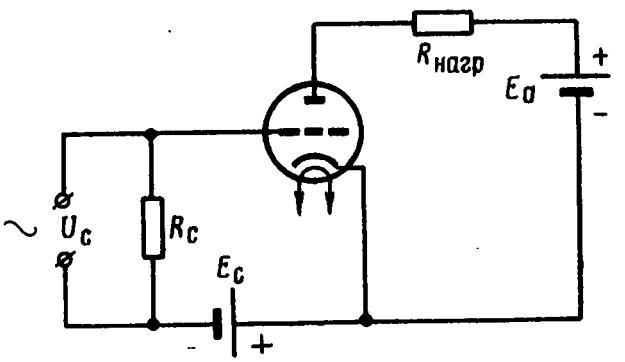


Рис. 85. Схема усилительного каскада на триоде

$$E_a = U_a + i_a R_{нагр},$$

откуда анодное напряжение будет равно

$$U_a = E_a - i_a R_{нагр}. \qquad (130)$$

Изменение напряжения на сетке триода вызовет изменение анодного тока, что повлияет на падение напряжения на резисторе нагрузки и приведет к изменению анодного напряжения лампы. Увеличение напряжения на сетке увеличивает ток и, как видно из выражения (130), уменьшает анодное напряжение. Уменьшение потенциала сетки приводит к возрастанию анодного напряжения.

Таким образом, при наличии нагрузки в анодной цепи изменения напряжения на сетке и анодного напряжения происходят в противофазе, т. е.

$$\Delta U_a = -\Delta i_a R_{нагр}. \qquad (131)$$

В отличие от статического режима трехэлектродной лампы, при котором анодное напряжение остается постоянным, режим работы триода, когда на сетку подается переменное напряжение, а в анодной цепи включена нагрузка, называется динамическим. Для определения анодного тока в статическом режиме достаточно одной анодно-сеточной характеристики. Анодный ток в динамическом режиме можно определить только с учетом падения напряжения на нагрузке. Если есть несколько анодно-сеточных характеристик, а также известно напряжение анодной батареи E_a и сопротивление нагрузки $R_{нагр}$, можно построить динамическую анодно-сеточную характеристику. На рис. 86 начало динамической характеристики соответствует нулевому значению анодного тока i_a и совпадает с точкой запирания статической характеристики, снятой при анодном напряжении, равном напряжению анодной батареи $U_a = E_a$.

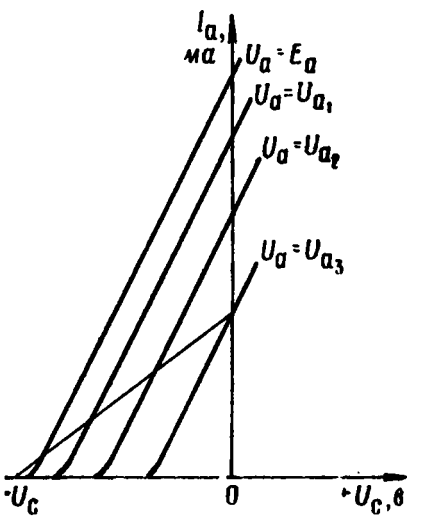


Рис. 86. Динамическая анодно-сеточная характеристика

Вторая точка получается на соседней статической характеристике при силе анодного тока $i_a = \frac{E_a - U_a}{R_{нагр}}$ (из формулы (130). Третья, четвертая и т. д. точки получаются аналогично.

Динамическая характеристика показывает зависимость анодного тока от двух переменных: напряжения на сетке U_c и анодного напряжения U_a. Поэтому приращение анодного тока может быть выражено уравнением

$$\Delta i_a = \frac{\Delta i_a}{\Delta U_c} \Delta U_c + \frac{\Delta i_a}{\Delta U_a} \Delta U_a. \qquad (132)$$

Поскольку

$$\frac{\Delta i_a}{\Delta U_c} = S, \text{ а } \frac{\Delta i_a}{\Delta U_a} = \frac{1}{R_i},$$

выражение (132) примет следующий вид:

$$\Delta i_a = S\Delta U_c + \frac{1}{R_i}\Delta U_a. \tag{133}$$

Анодное напряжение U_a изменяется за счет падения напряжения на резисторе нагрузки. Поэтому можно подставить выражение (131) в выражение (133) и решить уравнение относительно Δi_a. Тогда

$$\Delta i_a = \frac{R_i}{R_i + R_{нагр}} S\Delta U_c. \tag{134}$$

Отношение $\frac{\Delta i_a}{\Delta U_c}$ в динамическом режиме работы, так же как и в статическом, называется крутизной динамической характеристики и обозначается S_d. Из выражения (134):

$$S_d = \frac{R_i}{R_i + R_{нагр}} S. \tag{135}$$

Сила тока в анодной цепи триода с нагрузкой определяется следующим выражением:

$$i_a = S_d U_c. \tag{136}$$

Подставив выражение (135) в выражение (136), получим

$$i_a = \frac{R_i S}{R_i + R_{нагр}} U_c = \frac{\mu U_c}{R_i + R_{нагр}}. \tag{137}$$

Отношение напряжения $U_{нагр}$, получаемого на нагрузке, к напряжению на сетке U_c, называется коэффициентом усиления каскада:

$$K = \frac{U_{нагр}}{U_c} = \frac{i_a R_{нагр}}{U_c} = S_d R_{нагр}. \tag{138}$$

Подставив в это вражение значение S_d из выражения (135), получим

$$K = \frac{SR_i}{R_i + R_{нагр}} R_{нагр} = \frac{R_{нагр}}{R_i + R_{нагр}} \mu. \tag{139}$$

Выражение (139) показывает, что для получения большого усиления надо использовать лампы с большим коэффициентом усиления μ, т. е. с большой крутизной характеристики и большим внутренним сопротивлением. Кроме того, для триодов сопротивление нагрузки в анодной цепи должно в 3—4 раза превышать внутреннее сопротивление лампы.

§ 5. Многоэлектродные лампы

Для улучшения свойств трехэлектродной лампы в ее конструкцию вводится четвертый электрод (рис. 87), так называемая экранирующая сетка, располагаемая между анодом и управляющей сеткой. На экранирующую сетку подается положительное напряжение, которое выбирают в пределах 30—70% от анодного. В результате действие анодного напряжения на околокатодную область уменьшается, действие управляющей сетки на катод увеличивается, коэффициент усиления лампы при том же анодном напряжении становится больше, а крутизна анодно-сеточной характеристики возрастает, и она смещается влево. Это позволяет использовать тетроды в схемах усилителей мощности, где требуется большой участок прямолинейной части характеристики при отрицательных потенциалах на управляющей сетке, т. е. без сеточных токов. Увеличивается и внутреннее сопротивление лампы — до 500 000 *ом*. Коэффициент усиления тетрода в 3—4 раза больше, чем у триода (μ может достигать 400).

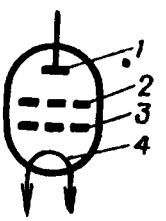


Рис. 87. Условное изображение четырехэлектродной лампы (тетрода)

1 — анод; *2* — экранирующая сетка; *3* — управляющая сетка; *4* — катод

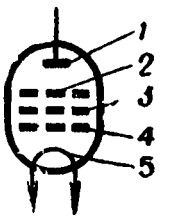


Рис. 88. Условное изображение пятиэлектродной лампы (пентода):

1 — анод; *2* — защитная сетка; *3* — экранирующая сетка; *4* — управляющая сетка; *5* — катод

Кроме того, экранирующая сетка уменьшает емкость между анодом и управляющей сеткой в несколько десятков раз, что позволяет использовать тетроды для усиления колебаний значительно большей частоты по сравнению с триодами.

Помимо достоинств тетрод имеет и существенный недостаток, заключающийся в явлении динатронного эффекта (вторичной эмиссии анода). Суть его состоит в следующем. Под действием положительного потенциала на двух электродах (аноде и экранирующей сетке) электроны подходят к аноду с большей скоростью, чем в триоде; ударяясь с большой силой об анод, они выбивают из его поверхности новые (вторичные) электроны, которых может быть больше, чем первичных. Вторичные электроны притягиваются к положительно заряженной экранирующей сетке, что уменьшает анодный ток лампы. При больших напряжениях на экранирующей сетке анодный ток с увеличением анодного напряжения не только не возрастает, а наоборот, падает (динатронный эффект), что ограничивает полезную область характеристик тетрода.

Для устранения динатронного эффекта в лампе между анодом и экранирующей сеткой помещают еще один электрод (рис. 88), который называется антидинатронной (защитной) сеткой.

Обладая обычно нулевым потенциалом по отношению к катоду, антидинатронная сетка защищает экранную сетку от вторичных электронов, возвращая их к аноду. Нулевой потенциал этой сетки создается путем соединения ее с катодом, чаще всего внутри самой лампы. Пятиэлектродная лампа (пентод), обладая всеми достоинствами тетрода, лишена его недостатка и поэтому получила очень широкое распространение, особенно в схемах усилителей высокой частоты.

§ 6. Электрометрические лампы

Сопротивление участка между сеткой и катодом у обычных триодов не превышает нескольких миллиардов ом, что не обеспечивает хорошей работы лампового электрометра, так как оно сравнимо с сопротивлением входного резистора. Поэтому в целях измерения разработаны специальные электрометрические лампы. Их основная особенность заключается в огромном сопротивлении участка сетка — катод, достигающим 10^{14}—10^{16} *ом*. Чтобы обеспечить такое сопротивление, необходимо исключить всякую возможность появления тока в цепи управляющей сетки. С этой целью электрометрическая лампа работает в левой части анодно-сеточной характеристики, т. е. только при отрицательных (по отношению к катоду) потенциалах на сетке.

Для уменьшения возможной утечки тока по поверхности баллона он изготовляется из специального кварцевого стекла и покрывается влагоотталкивающими кремнийорганическими соединениями. Для удаления жировой пленки, которая может образоваться при случайном прикосновении руки к лампе, перед установкой в схему баллон промывается спиртом. Чтобы увеличить сопротивление пути утечки тока, вывод управляющей сетки относится возможно дальше от вывода катода и изготовляется в виде колпачка на верхней части баллона.

Ток в цепи сетки может возникать за счет положительных ионов, которые образуются внутри баллона вследствие ионизации остаточного воздуха быстро летящими электронами. Поэтому для уменьшения скорости электронов на анод подается пониженное напряжение, не превышающее 20 *в*. Положительные ионы могут появиться внутри баллона также за счет вырывания их с поверхности электродов квантами света. Для уменьшения фотоэмиссии применяется активированный катод, что значительно уменьшает яркость его свечения, а сама электрометрическая лампа помещается в светонепроницаемый отсек.

Для целей электрометрии иногда применяются серийные пентоды, например 6Ж1Ж типа «желудь», которые работают в этом случае в специальном режиме. Режим заключается в том, что третья сетка используется в качестве управляющей, а первая и вторая — в качестве вспомогательных (катодных); подается значительно пониженное анодное напряжение; путем подведения к нити накала пониженного напряжения снижается температура катода.

§ 7. Маркировка и цоколевка электронных ламп, применяемых в войсковых дозиметрических приборах

В настоящее время разработано свыше 30 000 различных типов электронных приборов. Чтобы можно было разобраться в них, каждый тип имеет условное обозначение (маркировку).

Отечественные приемно-усилительные лампы маркируются комбинацией из четырех буквенных и цифровых знаков. Первый знак — цифра, указывающая напряжение накала лампы в вольтах, округленное до целых значений; второй знак — буква, обозначающая тип лампы (например, Ц — кенотрон, т. е. двойной диод, предназначенный для работы в двухполупериодном выпрямителе; С — триод; П — пентод; Ж — пентод с короткой характеристикой; К — пентод с удлиненной характеристикой; Э — тетрод или электрометрическая лампа и т. д.); третий знак — цифра, обозначающая порядковый номер типа лампы, позволяющий различать лампы с одинаковыми элементами устройства и назначением, но обладающими разными параметрами; четвертый знак — буква, характеризующая внешнее оформление лампы (например, С — лампа в стеклянном баллоне с цоколем, П — пальчиковая миниатюрная лампа диаметром 19 или 22,5 *мм*, Б — сверхминиатюрная лампа диаметром 10 *мм*, Ж — миниатюрная лампа типа «желудь»). Пример полной маркировки, например, пентода — 6Ж1Б. Прочитать это можно так: номинальное напряжение накала лампы 6,3 *в*; лампа является пентодом (буква Ж) первого типа (цифра 1); она сверхминиатюрная, с баллоном диаметром 10 *мм* (буква Б).

Лампы, имеющие цоколь, а также пальчиковые лампы подключаются к схеме и крепятся при помощи ламповых панелек. Сверхминиатюрные лампы крепятся обычно латунными скобами, а подключаются через выводы, которые припаиваются непосредственно к необходимым точкам. При этом каждый электрод должен присоединяться к предназначенной для него точке схемы; поэтому лампа с панелькой должна соединяться только в одном, строго определенном положении. Для этого на цоколе лампы имеется направляющий ключ, а в отверстии панельки — выемка. В пальчиковых лампах цоколя нет, у них роль направляющего ключа выпол-

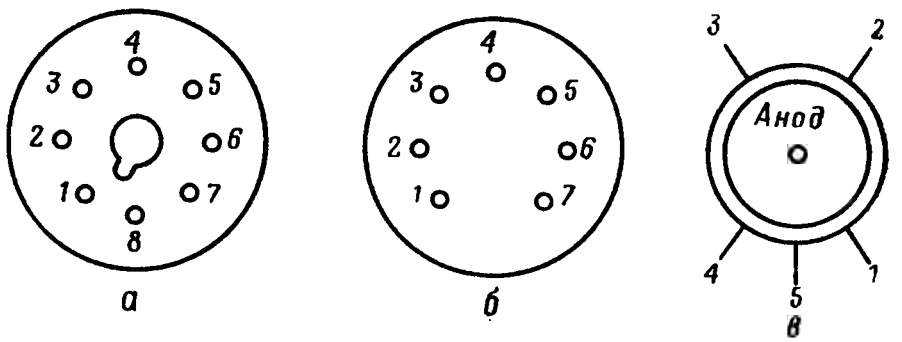


Рис. 89. Порядок нумерации выводных штырьков ламп:
а — с октальным цоколем; *б* — пальчиковых семиштырьковых ламп; *в* — ламп типа «желудь»

няют сами штырьки, у которых расстояние между крайними значительно больше, чем между всеми остальными. Гнезда панельки соответствуют штырькам и поэтому лампа с панелькой может соединяться только в одном положении. Штырьки лампы нумеруются по часовой стрелке, если смотреть на лампу со стороны штырьков (рис. 89).

Схема соединения электродов лампы с ее выводами называется цоколевкой лампы. На рис. 90 показана цоколевка электронных ламп, применяемых в войсковых дозиметрических приборах.

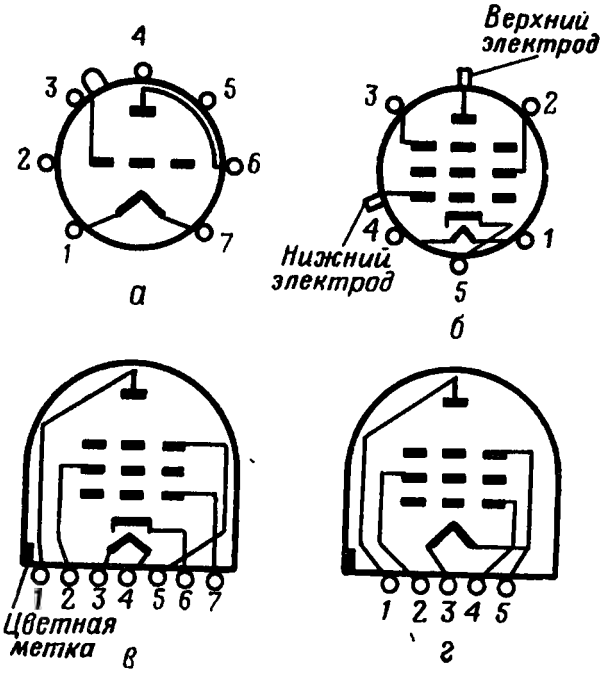


Рис. 90. Цоколевка ламп, применяемых в войсковых дозиметрических приборах:
а — ЭМ-4 (1Э3П); *б* — 6Ж1Ж; *в* — 6Ж1Б; *г* — 1П4Б

§ 8. Газоразрядные лампы

Кроме электронных вакуумных ламп применяются также лампы, в которых используется электрический разряд в газе, т. е. прохождение электрического тока через газы. Эти лампы называются газоразрядными. К ним относятся неоновые лампы, стабилитроны, тиратроны с холодным катодом и др.

Почти все газоразрядные лампы просты, надежны, дешевы, виброустойчивы, долго работают, а лампы с холодным катодом потребляют, кроме того, малую мощность. По свечению газоразрядных ламп во время работы можно визуально контролировать исправность схемы. Чтобы уменьшить влияние основного недостатка газоразрядных приборов — большого разброса параметров, разрабатываются новые схемы, а также улучшается их конструкция и технология производства.

Газовый разряд. Электрический ток в газах возникает из-за направленного движения не только электронов, но и положительных ионов. До тех пор пока в объеме газа не будет достаточно ионов, он остается диэлектриком и не может проводить электрический ток.

Любой газ всегда в небольшой степени ионизирован воздействием космических и ионизирующих излучений земной коры. Но естественная ионизация настолько мала, что за счет нее сколько-нибудь заметный ток через газы проходить не может. Для возникновения электрического тока в газе, кроме электрического поля, необходим внешний ионизатор.

Газовый разряд, для возникновения и поддержания которого требуется непрерывное внешнее ионизирующее действие, называется несамостоятельным. Подобный разряд используется, например, в ионизационных камерах рентгенметров.

При увеличении напряжения между электродами газового промежутка возрастает скорость движения электронов и ионов. Кинетическая энергия электрона может достигнуть величины, достаточной для ионизации нейтрального атома при соударении с ним. Процесс образования ионов и электронов за счет столкновения электронов с нейтральными атомами газа называется ударной ионизацией.

После первого столкновения в газе имеются уже два электрона и один положительный ион. Оба электрона, продолжая двигаться с ускорением и сталкиваясь с двумя нейтральными атомами, ионизируют их, в результате в газе оказываются четыре электрона. После третьего столкновения электронов будет восемь и т. д. (после двадцатого столкновения — около миллиона электронов). Нарастание числа электронов при ударной ионизации в газе происходит лавинообразно и столь велико, что отпадает необходимость во внешнем ионизирующем действии для поддержания газового разряда. Кроме того, положительные ионы, ударяясь об отрицательный электрод, выбивают из него большое количество дополнительных электронов, обеспечивая тем самым резкое возрастание тока в газовом промежутке. Для ограничения силы тока, проходящего через газоразрядную лампу, приходится включать последовательно с ней балластное сопротивление. Этим предотвращается переход тлеющего разряда, т. е. разряда с малыми плотностями тока (порядка миллиампер на 1 $см^2$) в дуговой разряд, при котором катод может расплавиться. Таким образом, в условиях, обеспечивающих ударную ионизацию в газе, несамостоятельный газовый разряд переходит в самостоятельный.

Начало процесса ударной ионизации называется моментом зажигания лампы, а величина напряжения, при котором наступает зажигание, — напряжением зажигания. Если напряжение между электродами меньше напряжения зажигания, ударная ионизация прекращается, ионы рекомбинируются и газовый разряд гаснет. Напряжение, при котором прекращается газовый разряд, называют напряжением гашения. Величина

напряжения зажигания зависит от рода и давления газа, материала катода, расстояния между электродами и их формы.

Кроме ионизации атомов в объеме газа имеет место и возбуждение. Это бывает, когда энергия свободного электрона при столкновении с атомом недостаточна, чтобы оторвать электрон от атома, и электрон только переходит с более близкой к ядру электронной оболочки на более удаленную. Возбужденный атом через очень малый промежуток времени самопроизвольно возвращается в нормальное состояние, испуская избыток энергии в виде кванта электромагнитных колебаний, которые в определенном спектре частот воспринимаются человеческим глазом в виде света. Этим объясняется свечение газоразрядных приборов во время работы.

Зависимость между током, проходящим через газоразрядную лампу, и напряжением на электродах лампы нагляднее всего представить в виде графика вольтамперной характеристики (рис. 91).

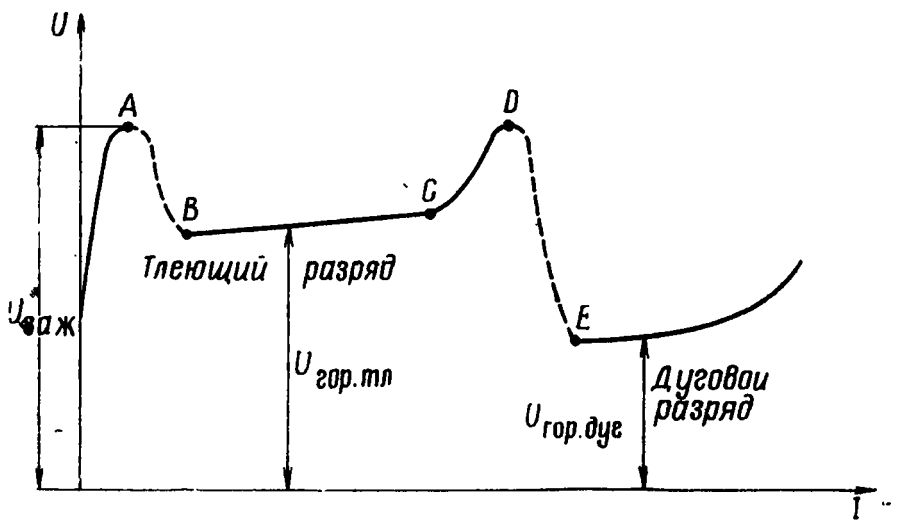


Рис. 91. Вольтамперная характеристика электрического разряда в газах

Пока разность потенциалов между электродами лампы не достигла величины напряжения зажигания, имеющиеся в баллоне за счет естественной ионизации электроны и ионы движутся с малыми скоростями и не вызывают ударной ионизации. Ток в цепи лампы при этом составляет 1—2 *мка* и им можно пренебречь (участок 0—*A* вольтамперной характеристики). Сопротивление лампы при таком малом токе несравнимо больше сопротивления балластного резистора.

Возрастание напряжения на электродах лампы до величины напряжения зажигания $U_{заж}$ вызывает ударную ионизацию. Число электронов и ионов резко увеличивается, что приводит, во-первых, к резкому уменьшению сопротивления, которое становится уже соизмеримым с балластным сопротивлением, и, во-вторых, к резкому возрастанию тока в цепи лампы. Ток, проходя по балластному резистору, создает на нем падение напряжения, в результате сни-

жается напряжение на электродах до величины $U_{\text{гор. тл}}$. Происходит это автоматически.

На участке B—C характеристики напряжение сравнительно постоянно при значительных изменениях тока. Объясняется это тем, что сила тока, проходящего через лампу, и динамическое сопротивление лампы определяются одним и тем же фактором — количеством электронов и ионов в баллоне лампы. Даже ничтожное увеличение напряжения на электродах (десятые доли вольта) приводит к сравнительно большим возрастаниям тока и уменьшению сопротивления лампы. Поэтому падение напряжения на лампе, численно равное их произведению, изменяется мало. Это свойство используется в газовых стабилизаторах напряжения.

При действии лампы в рабочем режиме, т. е. на участке B—C характеристики, ионизация поддерживается электронами, которые выбиваются ионами не со всей поверхности катода, а лишь с его малого светящегося участка. По мере роста тока, все большая часть поверхности катода начинает светиться; в точке C светится весь катод. В дальнейшем увеличить ток можно лишь за счет увеличения интенсивности выбивания электронов с единицы поверхности катода, для этого скорость ионов должна заметно возрасти. Это возможно только при росте напряжения между электродами (см. участок C—D вольтамперной характеристики).

Газовый разряд, происходящий на участке B—D, при котором катод остается холодным, называется тлеющим разрядом. В этот момент токи, проходящие через лампу, малы (единицы и десятки миллиампер), напряжение горения велико (десятки и сотни вольт), а падение напряжения на лампе в рабочем режиме не зависит от силы тока.

Дальнейшее возрастание напряжения источника тока приводит к столь интенсивной бомбардировке катода ионами, что он нагревается, и начинается термоэлектронная эмиссия. Количество электронов, производящих ионизацию, возрастает во много раз, и тлеющий разряд переходит в дуговой. Это приводит к значительному уменьшению динамического сопротивления лампы и падению напряжения между электродами до $U_{\text{гор. дуг}}$, равного 12—15 *в*.

Для тиратронов с холодным катодом дуговой разряд не допустим.

Неоновая лампа является газоразрядной лампой тлеющего разряда. Она состоит из стеклянного баллона, заполненного неоном под некоторым разряжением; внутри баллона имеются два электрода (обычно из никеля). Электроды встречаются самой разнообразной формы: плоские, цилиндрические различного диаметра, один дисковый, другой — кольцевой и т. д.

Стабилитрон. В дозиметрических приборах для уменьшения влияния изменения напряжения источника тока применяются газоразрядные стабилизаторы напряжения, или стабилитроны (рис. 92). В основу их работы положено свойство тлеющего разряда создавать

практически постоянное падение напряжения при значительном изменении проходящего через них тока (см. рис. 91, участок *B—C*). Для усиления этого свойства катод стабилитрона изготовляют в виде цилиндра с большой поверхностью, а в качестве анода используют тонкий стержень, расположенный по оси катода. Внутренняя, рабочая поверхность катода обычно активируется.

Электроды помещают в стеклянный баллон, заполненный аргоном, неоном или их смесью при давлении в несколько десятков миллиметров ртутного столба.

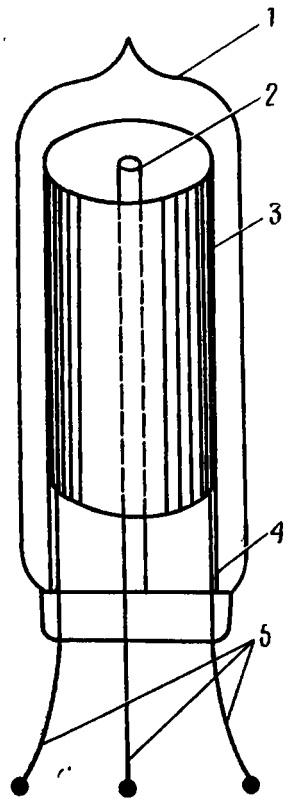


Рис. 92. Устройство стабилитрона:
1 — баллон; *2* — анод; *3* — катод; *4* — стойка; *5* — выводы

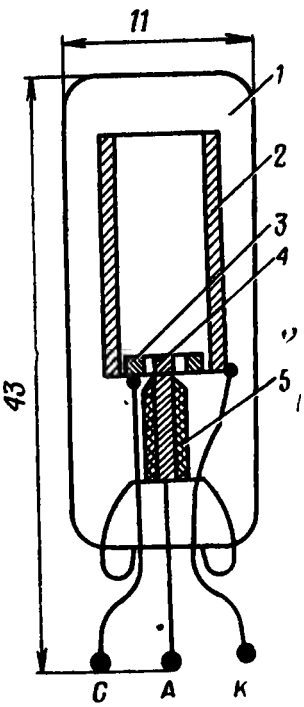


Рис. 93. Устройство тиратрона МТХ-90:
1 — баллон; *2* — катод; *3* — сетка; *4* — анод; *5* — стеклянная оболочка анода

Тиратрон с холодным катодом. Тиратрон с холодным катодом является лампой с тлеющим разрядом, в которой зажиганием можно управлять с помощью специального пускового электрода, иногда называемого сеткой. В ждущем режиме между анодом и катодом тиратрона прикладывается напряжение, величина которого больше напряжения гашения, но меньше напряжения зажигания. К сетке подводится некоторая величина потенциала, при этом в цепи сетки прибора проходит ток подготовки, который не превышает 1—2 *мка* и поэтому не вызывает газового разряда тиратрона. При подаче на сетку небольшого дополнительного напряжения (5—20 *в*) между сеткой и катодом возникает ударная ионизация, которая быстро распространяется на весь объем лампы, и ток начинает проходить между анодом и катодом. Влияние пускового электрода на ток тиратрона на этом заканчивается, так как газовый разряд поддерживается за счет ударной ионизации, производимой электронами, выбиваемыми из катода. Для прекращения тока через тиратрон надо уменьшить напряжение между анодом и катодом до величины, меньшей напряжения гашения.

В дозиметрических приборах используются два типа тиратронов: МТХ-90 и ТХ-4Б.

Тиратрон МТХ-90 (рис. 93) состоит из стеклянного баллона, заполненного неоном при давлении 19 *мм рт. ст.* Внутри баллона расположен цилиндрический катод из никеля, внутренняя поверх-

ность которого активирована. В нижней части катода помещен пусковой электрод (сетка), выполненный в виде диска диаметром 6 *мм*; в центре диска имеется отверстие диаметром 2 *мм*, в которое входит стержневой анод диаметром 0,65 *мм*. Рабочей поверхностью анода служит его торцовая часть, расположенная на уровне диска сетки. Чтобы недопустить распространения разряда вдоль всей поверхности стержня анода, его боковую поверхность покрывают тонкой стеклянной оболочкой.

Сетка в тиратроне МТХ-90 выполняет роль охранного кольца, ограничивающего возможность зажигания разряда между анодом и катодом при отсутствии подготовительного разряда между сеткой и катодом. При подаче на сетку положительного потенциала 70—80 *в* между ней и катодом возникает тихий разряд (участок 0—*А* на рис. 91), создающий начальную ионизацию и стабилизирующий процесс зажигания в тиратроне. В зависимости от силы разрядного тока в цепи сетки изменяются степень начальной ионизации и напряжение зажигания в анодной цепи.

Основные параметры тиратрона МТХ-90: рабочий диапазон напряжения зажигания 80—200 *в*; напряжение горения: в цепи анода 50—65 *в*, в цепи подготовки 70—85 *в*; напряжение зажигания в цепи подготовки 80—85 *в*, ток зажигания или ток подготовки (при $U_a = 140$ *в*) 5 *мка*; амплитуда пускового импульса 5—25 *в*; средний ток в цепи анода 10 *ма*; амплитуда импульсного анодного тока 20 *ма*; время восстановления 200—1000 *мксек*; долговечность 1000 *ч*.

Тиратрон ТХ-4Б имеет две сетки в виде пластин с отверстием в центре, поэтому может включаться как в тетродном, так и в триодном соединении. Катод — молибденовая пластинка толщиной 0,05 *мм*, к которой приваривается молибденовая проволока (носик), изогнутая в центральной части в виде петли (для лучшей фиксации подготовительного разряда). Катод из чистого металла имеет более стабильную эмиссию электронов. Анод тиратрона выполняется в виде траверсы (стержня) диаметром 0,4 *мм*. Все электроды монтируются на слюдяных изоляторах (чтобы точнее зафиксировать их положение и уменьшить утечку тока в их цепях) и помещаются внутри стеклянного баллона, заполненного смесью из 93,5% неона и 6,5% аргона при давлении в 40 *мм рт. ст.*

Параметры тиратрона ТХ-4Б стабильны во времени, имеют малый разброс. Основные параметры: рабочий диапазон напряжения зажигания 125—250 *в*; напряжение горения: в цепи анода 110—120 *в*, в цепи подготовки 85—95 *в*; напряжение зажигания в цепи подготовки менее 100 *в*, в цепи управляющей сетки (при $U_a = 150$ *в*, $i_c = 10$ *мка*) 90—95 *в*; средний ток в цепи анода 3,5 *ма*; амплитуда импульса анодного тока 7 *ма*; время восстановления 10—100 *мксек*; долговечность 1000 *ч*.

У тиратрона ТХ-4Б высокая чувствительность к входным сигналам и большое входное сопротивление, что в сочетании с малым

временем восстановления ионов в нейтральные атомы газа (деионизации) позволяет использовать его в высокочастотных схемах, с частотой до десятков килогерц.

§ 9. Полупроводниковые приборы

К полупроводникам относится большая группа как химических элементов, так и их соединений, электропроводность которых сильно зависит от внешних воздействий: температуры, освещения, радиоактивного облучения, наличия дефектов в структуре кристаллов. Это происходит из-за нарушения связей между заряженными частицами и кристаллической решеткой. При этом высвобождаемые частицы могут переносить электрический заряд через объем кристалла.

В соответствии с положениями квантовой механики при переходе электрона из связанного состояния в свободное его энергия возрастает скачком на определенную величину. Для этого необходимо, чтобы квант энергии внешнего воздействующего фактора был больше определенной для каждого полупроводника величины. Например, для отрыва электрона от атома германия требуется 0,72 *эв*.

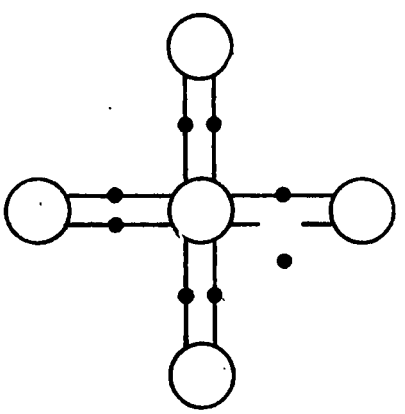


Рис. 94. Дефект кристалла, вызванный воздействием внешней энергии

Собственная проводимость проводника. Электропроводность чистых полупроводников в отличие от металлических определяется не только свободными электронами, но и так называемым «дырочным» механизмом проводимости.

«Дырки» — места кристаллической решетки, из которых выбиты электроны и где положительные заряды ионов не скомпенсированы, т. е. ковалентные связи разорваны (рис. 94). Такое место обладает свойством элементарного положительного заряда, в него может относительно легко перескочить электрон из соседней ковалентной связи, вследствие чего «дырка» перемещается на новое место. Следовательно, в полупроводниках подвижны как перешедшие в свободное состояние электроны, так и оставленные ими места, которые принято рассматривать в качестве положительно заряженных подвижных частиц. Когда электрического поля нет, «дырки» движутся хаотически, когда поле есть — «дырки» движутся упорядоченно, как положительные электрические заряды, по направлению действия электрического поля.

Электропроводность, созданная в кристалле высвободившимися электронами и образовавшимися в результате этого «дырками», называется собственной проводимостью полупроводника.

Число ионизированных атомов в 1 $см^3$ полупроводника при комнатной температуре сравнительно невелико — $2{,}5 \cdot 10^{13}$; один носи-

тель электрического заряда приходится примерно на 10^9 атомов, тогда как в металле один свободный электрон приходится примерно на один атом. Поэтому собственная проводимость чистых полупроводников чрезвычайно мала.

Примесная проводимость проводников. Некоторые примеси резко изменяют электропроводность полупроводника. Это объясняется тем, что для ионизации примесных атомов требуется 0,01—0,1 *эв*, что в десятки раз меньше, чем для ионизации собственных атомов полупроводника. Поэтому уже при комнатной температуре практически все атомы примеси ионизированы и концентрация примесных носителей электрического заряда во много раз больше, чем свободных электронов и «дырок» в чистом кристалле. Например, при введении в чистый германий всего лишь 0,0001% сурьмы проводимость его возрастает в 1000 раз. Валентность примеси определяет тип проводимости, т. е. будет ли она электронной или дырочной. От количества примеси зависит величина проводимости.

Если атомы примеси имеют больше валентных электронов, чем атомы полупроводника, то при замещении примесными атомами отдельных атомов полупроводника остаются лишние электроны, которые легко переходят в свободное состояние и тем самым увеличивают электропроводность полупроводника. Такие примеси называются донорными, т. е. отдающими электроны. Полупроводники получаются с преимущественно электронной проводимостью или, как их называют, *n*-типа (от слова negative — отрицательный).

Если примесные атомы имеют валентных электронов меньше, чем атомы полупроводника, то внедряясь в кристалл, для образования всех связей они легко отбирают от соседних атомов полупроводника недостающие электроны и тем самым увеличивают концентрацию «дырок». Такие примеси называются акцепторными, т. е. поглощающими электроны. Полупроводники приобретают преимущественно дырочную проводимость и их называют полупроводниками *p*-типа (от слова positive — положительный).

Германий и кремний являются четырехвалентными элементами, поэтому пятивалентные сурьма, мышьяк, фосфор для них доноры, а трехвалентные индий, алюминий, бор — акцепторы.

Электронно-дырочный переход. В основе работы большого числа полупроводниковых приборов лежит использование свойств электронно-дырочного перехода, образующегося на границе раздела двух полупроводников с различными типами проводимости. Эту границу называют *p*—*n*-переходом.

При современной технологии производства полупроводников примеси распределяются так, что внутри одного и того же кристалла образуются области с *n*- и *p*-типами проводимости. На рис. 95 показано образование *p*—*n*-перехода в кристалле полупроводника. Значки в кружках обозначают примесные атомы, отдавшие или поглотившие электроны, а значки без кружочков обозначают свободные электроны и «дырки». Атомы-акцепторы в левой половине кристалла, обусловливающие *p*-проводимость, и атомы-доноры в правой

половине кристалла (n-области) распределены по объему равномерно, так как, заместив некоторые атомы полупроводника в узлах кристаллической решетки, они обрели почти полную неподвижность.

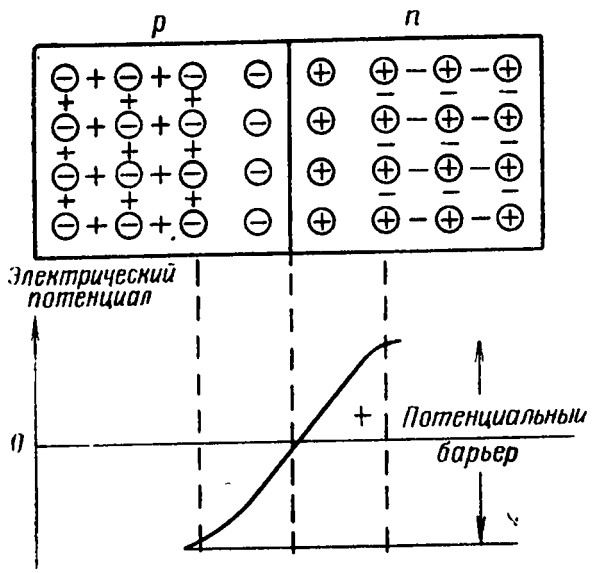


Рис. 95. Образование электронно-дырочного перехода

«Дырки» p-области, обладая относительно большой подвижностью и отталкиваясь атомами-донорами n-области, переместятся влево от границы раздела, а электроны n-области, отталкиваясь атомами-акцепторами, расположенными в p-области, переместятся вправо. Таким образом, на границе раздела $p-n$-областей образуется слой, сильно обедненный свободными носителями электрических зарядов и, следовательно, обладающий большим сопротивлением. Иногда его называют запирающим слоем. Образовавшийся в $p-n$-переходе объемный заряд, состоящий из положительно заряженного слоя в n-области и отрицательно заряженного слоя в p-области, противодействует диффузии электронов и «дырок» через $p-n$-переход и создает устойчивый потенциальный барьер.

Электроны в p-области и «дырки» в n-области, обусловливающие собственную проводимость полупроводника, будут увлекаться электрическим полем объемного заряда через переход, но ввиду их относительно небольшой концентрации они не могут оказать существенного влияния на образование потенциального барьера и запирающего слоя. Если теперь к такой системе подключить источник тока, то в зависимости от полярности приложенного напряжения сопротивление $p-n$-перехода возрастет или уменьшится.

В случае подключения источника тока так, как показано на рис. 96, *а*, к уже образованному потенциальному барьеру добавляется воздействие источника тока, положительный полюс которого, притягивая свободные электроны n-области, заставляет их еще более сдвигаться вправо. Аналогично отрицательный полюс источника тока заставляет «дырки» p-области сдвигаться влево от $p-n$-перехода. Область, обедненная свободными носителями электрических зарядов, расширяется и сопротивление $p-n$-перехода значительно возрастает. Такое подключение источника тока называется о б р а т н ы м или запирающим.

При изменении полярности приложенного напряжения (рис. 96, *б*) «дырки» p-области и электроны n-области начинают перемещаться в направлении $p-n$-перехода, преодолевают потенциальный барьер и, встречаясь в области, прилегающей к $p-n$-пере-

ходу, рекомбинируют; сопротивление запирающего слоя резко уменьшается. Убыль электронов в n-области пополняется за счет тех, которые приходят с отрицательного полюса источника тока, а избыток электронов в p-области стекает на положительный полюс источника тока. Таким образом, в цепи возникает электрический ток. Такое подключение источника тока называется прямым или пропускным.

Основным свойством электронно-дырочного перехода является односторонняя проводимость, т. е. способность пропускать ток лишь в одном направлении, при одной определенной полярности приложенного напряжения. Это свойство используется в полупроводниковых диодах и транзисторах.

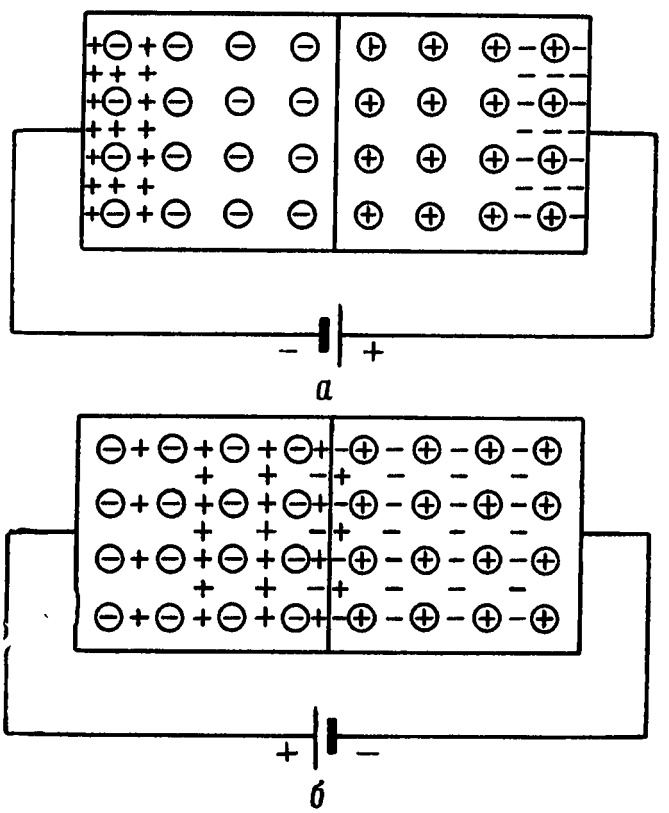


Рис. 96. Влияние полярности приложенного напряжения на сопротивление $p-n$-перехода:
а — запирающее направление; *б* — пропускное направление

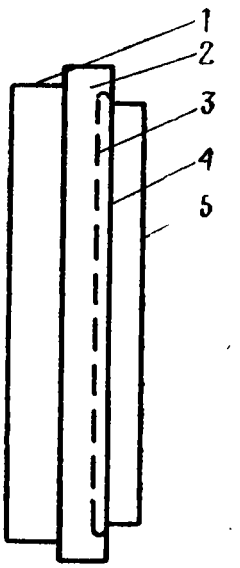


Рис. 97. Устройство селенового выпрямительного элемента:
1 — алюминиевая пластина; *2* — селен; *3* — $p-n$-переход; *4* — прослойка селенида кадмия; *5* — катодный сплав

Селеновые выпрямители. Выпрямители служат для получения постоянного напряжения путем преобразования переменного тока в пульсирующий с последующим сглаживанием при помощи электрического фильтра. В селеновом выпрямителе используется свойство односторонней проводимости $p-n$-перехода, образующегося между селеном и прослойкой кадмия.

Селеновый выпрямительный элемент АВС (рис. 97), применяемый в дозиметрических приборах, состоит из алюминиевого диска,

на одну из поверхностей которого наносится слой серого селена, а поверх него напыливается слой катодного сплава, состоящего из висмута, кадмия и олова. При термической обработке и пропускании обратного тока между селеном и катодным сплавом образуется прослойка сульфида и селенида кадмия, а между этой прослойкой и селеном возникает $p-n$-переход с пропускным направлением от селена к катодному сплаву.

В процессе производства селеновые выпрямительные элементы подвергаются электрической формовке, заключающейся в пропускании большого обратного тока при температуре элемента около 80° С. При этом формируется запирающий слой. Обратное сопротивление $p-n$-перехода возрастает в сотни раз, а сопротивление в прямом направлении увеличивается незначительно.

При длительном бездействии селеновые выпрямительные элементы зачастую расформовываются, т. е. сопротивление $p-n$-перехода значительно уменьшается. В результате обратный ток может превысить допустимую величину в 5—10 раз и перегреть элемент. Расформовка является обратимым процессом, и сопротивление запирающего слоя может быть восстановлено до прежней величины. Для этого выпрямитель с расформованными элементами включают на 10 *мин* под переменное напряжение, равное половине номинального, а затем в течение 2 *ч* — под номинальное напряжение.

Используя селеновые выпрямители, необходимо обращать внимание на то, чтобы прикладываемое к одному выпрямительному элементу напряжение не превышало в зависимости от типа выпрямителя 12—36 *в*. Если надо выпрямлять большие напряжения, выпрямительные элементы соединяются последовательно.

Размеры выпрямительного элемента выбирают исходя из допустимого тока. Во избежание перегрева элемента плотность выпрямленного тока не должна превышать 50 *ма/см*^{2}.

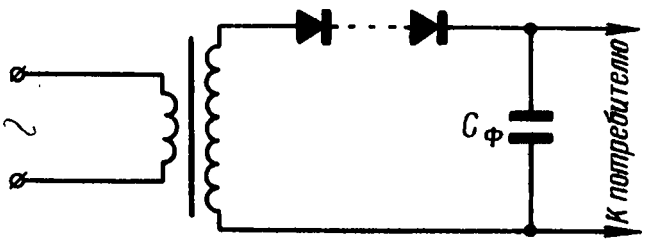


Рис. 98. Схема включения селенового выпрямителя

В схеме включения селенового выпрямителя, показанной на рис. 98, для сглаживания пульсаций применяется, как и во многих дозиметрических приборах, один фильтрующий конденсатор $C_Ф$.

Кремниевые стабилитроны. Газоразрядные стабилитроны имеют напряжение зажигания не менее 70—100 *в*. Поэтому они не могут быть использованы для стабилизации напряжения полупроводниковых приборов, для питания которых достаточно напряжения в несколько вольт. В связи с этим разработана серия кремниевых дио-

дов, специально предназначенных для стабилизации низких напряжений. Они получили название полупроводниковых стабилитронов или опорных диодов.

В основу работы полупроводникового стабилитрона положена особенность хода нижней части вольтамперной характеристики кремниевого диода. Как видно из рис. 99, она заключается в том, что начиная с момента пробоя, обозначенного точкой A, характеристика идет почти параллельно оси токов, т. е. сила тока в этом случае меняется в широких пределах, а напряжение остается практически постоянным (аналогично характеристике газоразрядного стабилитрона).

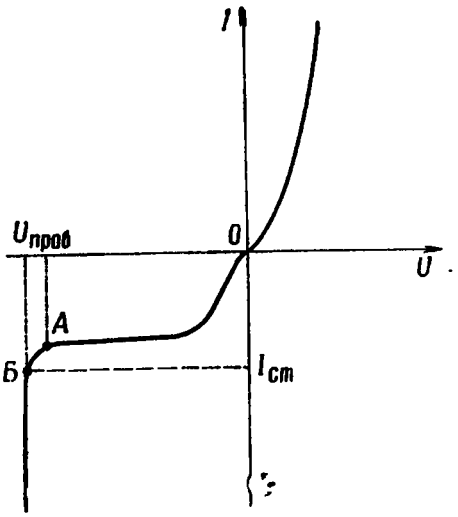


Рис. 99. Вольтамперная характеристика кремниевого диода

Полупроводниковый стабилитрон включается так же, как газовый стабилитрон, т. е. параллельно нагрузке, но так, чтобы напряжение к нему было приложено в обратном направлении (рис. 100). Напряжение начинает стабилизироваться с момента пробоя стабилитрона, т. е. с момента разрушения электронно-дырочного перехода под действием приложенного в обратном направлении напряжения, величина которого превысила предельно допустимое значение.

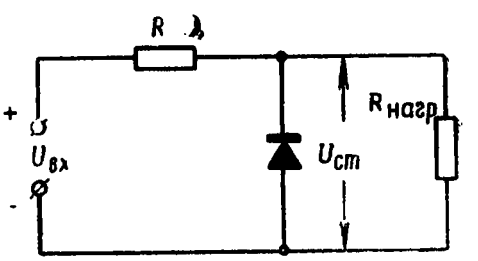


Рис. 100. Схема включения полупроводникового стабилитрона

Напряжение пробоя зависит от удельного сопротивления материала стабилитрона и определяется выражением

$$U_{проб} \approx 60\rho^{0,6}. \quad (140)$$

От напряжения пробоя зависит характер процесса пробоя.

У низковольтных стабилитронов с напряжением стабилизации до 7 *в*, которые имеют сравнительно малую ширину $p-n$-перехода, напряженность электрического поля достигает величин, достаточных для вырывания валентных электронов из атомов полупроводника. Вследствие этого собственная проводимость полупроводника резко возрастает и обеспечивает прохождение тока через стабилитрон.

У кремниевых стабилитронов (рис. 101), рассчитанных на работу в интервале напряжений от 7 до 15 *в*, наряду с описанным выше механизмом пробоя существует в какой-то степени и лавинный пробой. Такой пробой является результатом ударной ионизации: обес-

печивающие собственную проводимость полупроводника электроны и «дырки», попадая в зону действия объемного заряда $p-n$-перехода, разгоняются им до таких скоростей, что приобретают энергию, достаточную для разрушения валентных связей в полупроводнике; число свободных носителей электрических зарядов резко возрастает, что обусловливает возрастание тока через стабилитрон.

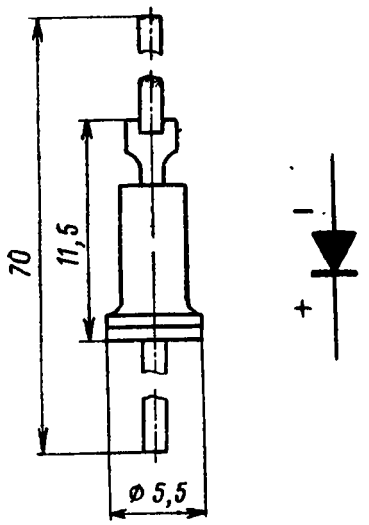


Рис. 101. Габаритный чертеж и полярность кремниевого диода — стабилитрона

У высоковольтных стабилитронов, имеющих достаточную ширину $p-n$-перехода, пробой определяется только лавинными процессами, так как большая ширина перехода способствует разгону носителей электрических зарядов до больших скоростей.

Основные параметры полупроводникового стабилитрона следующие.

Напряжение стабилизации $U_{ст}$. Наклон ветви вольтамперной характеристики в области пробоя показывает, что определенное напряжение стабилизации может быть только при вполне определенном токе стабилизации.

Допустимый ток стабилизации $I_{ст.доп}$. Он зависит от рассеиваемой мощности стабилитрона. При возрастании тока больше допустимого стабилитрон перегревается и выходит из строя. Рабочий ток стабилитрона определяется сопротивлением нагрузки.

Динамическое сопротивление $R_д$. Оно характеризует наклон ветви вольтамперной характеристики в области пробоя, так как фактически любое отклонение тока стабилизации от номинальной величины вызывает изменение стабилизируемого напряжения $\left(R_д = \frac{\Delta U}{\Delta i}\right)$. Для идеального стабилитрона $R_д = 0$, т. е. любое изменение приращения тока не вызывает изменения напряжения.

Коэффициент качества Q. Этот коэффициент показывает отношение динамического сопротивления к статическому:

$$Q = \frac{R_д}{R_{ст}}, \qquad (141)$$

где $R_{ст} = \frac{U_{ст}}{I_{ст}}$, т. е. это есть сопротивление потерь в рабочей точке. Для лучших современных стабилитронов величина коэффициента качества меньше 0,01.

Температурный коэффициент напряжения стабилизации ТКН. Он показывает, в какой мере изменяется напряжение пробоя, а следовательно, и напряжение стабилизации в зависимости от изменения температуры.

Отечественная промышленность выпускает кремниевые стабилитроны, параметры которых указаны в табл. 7.

Таблица 7

ПАРАМЕТРЫ КРЕМНИЕВЫХ СТАБИЛИТРОНОВ

Тип стабилитрона	Напряжение стабилизации, *в*	Номинальный ток стабилизации, *ма*	Наибольший ток стабилизации, *ма*	Динамическое сопротивление, *ом* при токе	
				1 *ма*	5 *ма*
Д808	7—8,5	5	33	12	6
Д809	8—9,5	5	29	18	10
Д810	9—10,5	5	26	25	12
Д811	10—12	5	23	30	15
Д813	11,5—14	5	20	35	18

Примечание. Мощность рассеяния 0,28 *вт* при температуре до + 50° С. Рабочие температуры от — 50° до + 125° С.

Помимо стабилитронов Д808—Д813 имеются стабилитроны Д815—Д817 с мощностью рассеяния от 5 до 8 *вт* на номинальные напряжения стабилизации 5—100 *в*.

Транзистор. Если в кристалле полупроводника создать не один, а два электронно-дырочных перехода, то такая система может выполнять все функции трехэлектродной лампы. Такая система называется кристаллическим триодом или транзистором.

Следовательно, в пластинке транзистора из германия или кремния должно быть три области с проводимостью различного типа и два p — n-перехода между ними. Средняя область называется базовой (сокращенно базой), а прилегающие к ней две другие — эмиттерной и коллекторной. Электронно-дырочный переход между базовой и эмиттерной областями называется эмиттерным переходом, а между базой и коллекторной областями — коллекторным переходом.

Транзистор, в котором базовая область обладает n-проводимостью, а эмиттерная и коллекторная имеют p-проводимость, называется транзистором структуры $p — n — p$ и обозначается на схемах условным знаком (рис. 102).

Конструкция сплавного транзистора, показанная на рис. 103, состоит из тонкой пластинки полупроводника, с обеих сторон которой вплавлены два кусочка индия. Некоторое количество атомов индия диффундирует в пластинку, в результате чего между ними и базой образуются эмиттерный и коллекторный переходы. Кусочек индиевого сплава большего размера с прилегающей к нему областью называется коллектором, а кусочек сплава меньшего размера — эмиттером. Пластинка полупроводника заключена в герметичный металлический корпус, а от электродов транзистора и самой пластинки сделаны выводы. Транзисторы такой конструкции используются в дозиметрических приборах.

Особенностью работы транзистора по сравнению с работой отдельного $p-n$-перехода является наличие двух близко расположенных друг к другу переходов, что определяет условия работы обоих переходов.

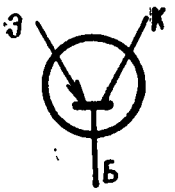


Рис. 102. Условное обозначение транзистора структуры $p-n-p$

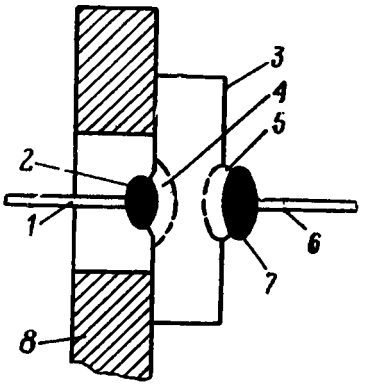


Рис. 103. Конструкция сплавного транзистора структуры $p-n-p$:

1 — вывод эмиттера; *2* — электрод эмиттера; *3* — пластинка полупроводника; *4* — эмиттерный переход; *5* — коллекторный переход; *6* — вывод коллектора; *7* — электрод коллектора; *8* — вывод базы

Как показано на схеме включения транзистора (рис. 104), к переходу эмиттер — база приложено небольшое напряжение в пропускном направлении, а к переходу база — коллектор — относительно большое в запирающем направлении. Напряжение, приложенное к эмиттерному переходу в прямом направлении, обеспечивает инжекцию (впрыскивание) «дырок» из эмиттера в базу, где они начинают диффундировать в сторону коллекторного перехода, так как около него концентрация «дырок» значительно меньше. Из-за малой толщины базы по пути к коллектору успевает рекомбинировать с электронами базы лишь малая доля «дырок», впрыснутых эмиттером. При подходе «дырок» к коллекторному переходу они подвергаются воздействию сильного ускоряющего поля (так как к коллекторному переходу приложено значительное обратное напряжение) и перебрасываются полем в коллекторную область, где рекомбинируют с электронами, подходящими из отрицательного полюса источника тока $E_{бк}$.

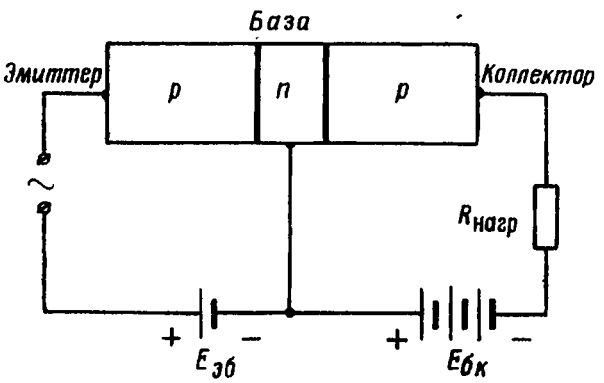


Рис. 104. Схема включения транзистора

Несмотря на непрерывную инжекцию «дырок» эмиттером.

количество их в последнем не уменьшается, так как одновременно с переходом «дырок» из эмиттера в базу такое же количество электронов стекает из эмиттера к положительному зажиму источника тока $E_{эб}$, в результате чего в эмиттере появляются новые «дырки».

Таким образом, в цепи транзистора устанавливается электрический ток. За вычетом небольшого тока базы, обусловленного рекомбинацией некоторого количества «дырок» с электронами базы, сила тока в эмиттере и коллекторе одинакова и зависит от количества «дырок», впрыскиваемых эмиттером в базу. Другими словами, сила тока в транзисторе зависит от напряжения, приложенного к эмиттерному переходу.

Эффект усиления в данном случае определяется тем, что за счет большого сопротивления коллекторного перехода из-за подключения источника тока $E_{бк}$ в обратном направлении, в цепь коллектора может быть включено большое нагрузочное сопротивление, на котором проходящий коллекторный ток будет создавать падение напряжения, в сотни и тысячи раз большее величины сигнала, подаваемого на эмиттерный переход.

При изменении полярности напряжения, подводимого к эмиттерному переходу, его сопротивление резко увеличивается, условия для инжекции «дырок» из эмиттера в базу исчезают и транзистор запирается, т. е. прекращается прохождение тока по цепи транзистора. Такой режим работы транзистора находит применение в схемах дозиметрических приборов.

Раздел третий

ЭЛЕМЕНТЫ СХЕМ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Глава I

ВОСПРИНИМАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ИОНИЗАЦИОННОГО ТИПА

§ 1. Ионизационная камера

Ионизационная камера представляет собой устройство, состоящее из двух электродов, между которыми находится газовая среда — воздух. Если на камеру действуют ионизирующие излучения, то в ней образуются свободные электрические заряды и газовая среда в рабочем объеме становится проводящей. Подключением к электродам камеры источника питания в ней создается электрическое поле. При отсутствии ионизирующих излучений ток в цепи камеры протекать не будет, так как в ней нет свободных электрических зарядов и сопротивление ее бесконечно велико.

Когда под воздействием излучений в газовом объеме камеры возникают свободные положительные ионы и электроны, ее сопротивление уменьшается и даже при небольшом напряжении на электродах ионы приобретают направленное движение. Положительные ионы притягиваются к отрицательному электроду, отрицательные электроны — к положительному электроду камеры. В цепи камеры возникает ток, называемый ионизационным (рис. 105).

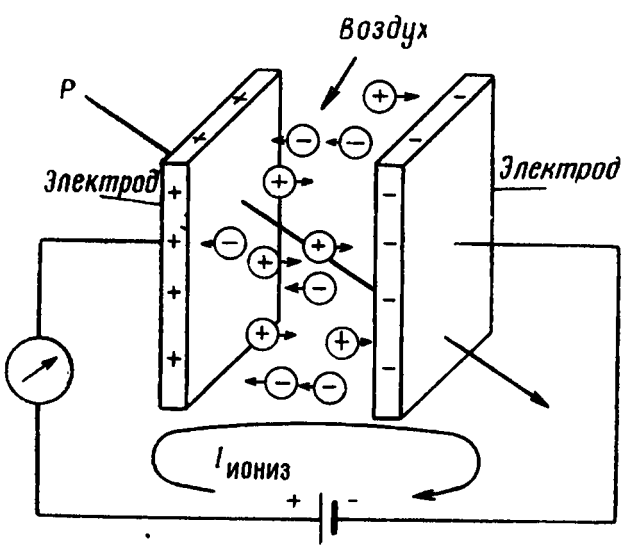


Рис. 105. Цепь ионизационной камеры

При небольших напряжениях на электродах камеры силы, воздействующие на ионы, невелики, скорости их движения малы и, чтобы достичь электродов, им требуется значительное время. В течение этого времени большое число разноименно заряженных

ионов, притягиваясь друг к другу, успевает рекомбинировать. На электроды камеры попадает лишь некоторая часть образовавшихся при ионизации ионов, и ток в цепи камеры будет небольшим. С увеличением напряжения растет напряженность электрического поля и сила притяжения ионов к электродам, увеличиваются скорость движения ионов и уменьшается время их нахождения в камере. Рекомбинация становится менее вероятной, следовательно, большее число ионов принимает участие в образовании ионизационного тока, и он увеличивается (рис. 106).

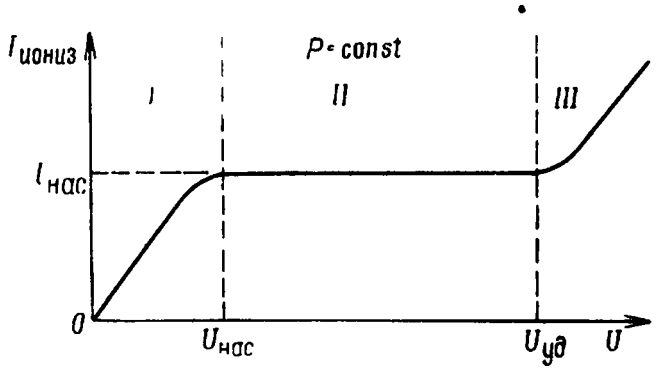


Рис. 106. Вольтамперная характеристика ионизационной камеры:

I — область рекомбинации; II — область насыщения; III — область ударной ионизации (газового усиления)

По мере дальнейшего увеличения напряжения на камере скорости движения ионов настолько возрастают, что практически ни одна пара их не успевает рекомбинировать, и все они попадают на электроды, принимая участие в образовании ионизационного тока. Напряжение, при котором прекращается рекомбинация, называется напряжением насыщения ($U_{нас}$), а ток — током насыщения ($I_{нас}$).

Последующее увеличение напряжения не вызывает изменения силы тока, так как нет того дополнительного количества ионов, которое могло бы вызвать увеличение тока в цепи камеры. Однако при очень больших напряжениях на камере, равных $U_{уд}$ и больше, первичные электроны, образованные ионизирующими излучениями, приобретают скорость и энергию, достаточные для того, чтобы при столкновении с атомами или молекулами газа образовать дополнительные, вторичные ионы за счет ударной ионизации. Общее количество ионов в камере становится больше количества ионов, созданных непосредственным воздействием ионизирующих излучений. Соответственно увеличивается и количество ионов, попадающих на электроды камеры, и, следовательно, увеличивается ионизационный ток. С дальнейшим увеличением напряжения количество вторичных ионов и ионизационный ток продолжают расти.

Зависимость ионизационного тока от напряжения между электродами при неизменной мощности дозы ионизирующих излучений называется вольтамперной характеристикой камеры.

С увеличением мощности дозы излучений возрастает количество ионов, образующихся в 1 $см^3$ в 1 *сек*. Следовательно, при одном и том же напряжении на электроды камеры поступит больше ионов, увеличится ионизационный ток (рис. 107).

С ростом мощности дозы увеличивается и напряжение насыщения. Это вызвано тем, что большая мощность дозы приводит к большей концентрации ионов, а при этом возрастает и вероятность рекомбинации. Для ее преодоления необходимо увеличить скорость направленного движения ионов к электродам усилением электрического поля.

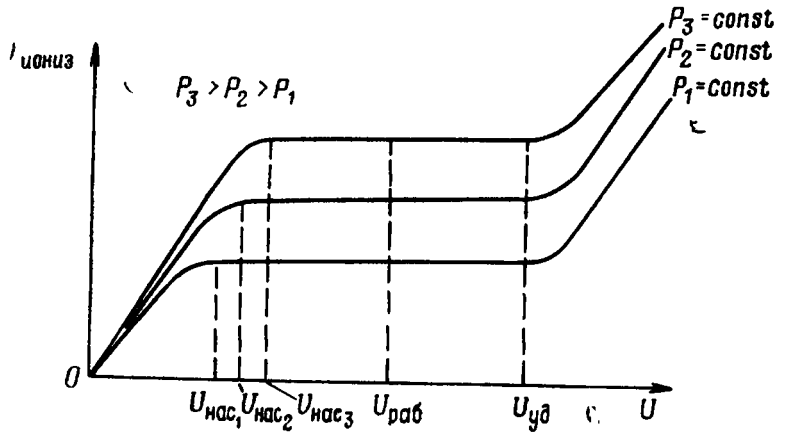


Рис. 107. Вольтамперные характеристики ионизационной камеры при различных значениях мощности дозы

Возникновение ударной ионизации не зависит от мощности дозы излучений и во всех случаях наступает при одном и том же напряжении на электродах, при котором в газовой среде с данным давлением электрону между двумя его последовательными столкновениями сообщается энергия, достаточная для ударной ионизации.

Таким образом, при увеличении напряжения в камере имеют место три различных качественных состояния, характеризуемых явлениями рекомбинации, насыщения и ударной ионизации.

В области рекомбинации (или области закона Ома) ионизационный ток зависит как от мощности дозы излучений, так и от напряжения на камере. Поэтому эта область (от 0 до $U_{нас}$) не может быть использована для определения мощностей воздействующих на камеру доз.

В области насыщения (от $U_{нас}$ до $U_{уд}$) ток зависит лишь от мощности дозы излучений; в этом режиме ионизационную камеру можно использовать для определения мощности доз.

Теоретически рабочее напряжение $U_{раб}$ на ионизационной камере может быть любым в пределах от $U_{нас}$ до $U_{уд}$. Однако при $U_{раб} = U_{уд}$ требуются источники питания с большим напряжением, что связано с удорожанием и усложнением эксплуатации измерительной аппаратуры, а при $U_{раб} = U_{нас}$ даже незначительное изменение напряжения источников питания может вывести камеру в ре-

жим рекомбинации. Поэтому обычно $U_{раб}$ выбирается в середине области насыщения вольтамперной характеристики, соответствующей максимальной измеряемой мощности дозы излучений:

$$U_{раб} = U_{нас} + \frac{U_{уд} - U_{нас}}{2}. \quad (142)$$

Область ударной ионизации, начинающаяся при напряжении $U_{уд}$, тоже характеризуется зависимостью ионизационного тока от мощности дозы и напряжения на электродах. Эта область для ионизационных камер не используется.

Измерение мощности дозы с применением ионизационной камеры. Если на ионизационную камеру воздействует излучение с мощностью дозы P, то в каждом кубическом сантиметре газовой среды ее в 1 *сек* образуется N пар ионов, а во всей камере объемом V создается NV пар ионов. Поскольку величина заряда каждого иона $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *к*, то общий заряд одного знака, возникающий в камере за 1 *сек*, равен eNV.

В режиме насыщения, когда весь этот заряд принимает участие в образовании ионизационного тока, ток

$$I_{нас} = eNV = 1{,}6 \cdot 10^{-19} NV. \quad (143)$$

Поскольку при мощности дозы в 1 *р/ч* в 1 *см*^{3} воздуха в течение 1 *ч* создается $2{,}08 \cdot 10^9$ пар ионов, то за 1 *сек* в 1 *см*^{3} число их будет равно $\frac{2{,}08 \cdot 10^9}{3600}$, а при мощности дозы P составит $\frac{2{,}08 \cdot 10^9 P}{3600}$. Следовательно,

$$I_{нас} = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 2{,}08 \cdot 10^9}{3600} PV = 9{,}27 \cdot 10^{-14} PV. \quad (144)$$

Отсюда видно, что в режиме насыщения ионизационный ток пропорционален мощности дозы. Поэтому с помощью камеры, объем которой постоянен, по измеренному ионизационному току можно определить мощность дозы.

Из формулы (144) следует также, что чувствительность камеры прямопропорциональна ее объему. Это значит, что при одной и той же мощности дозы ток ионизационной камеры будет тем больше, чем больше ее объем:

$$\frac{I_{нас}}{P} = 9{,}27 \cdot 10^{-14} V. \quad (145)$$

Возникающие в ионизационной камере токи чрезвычайно малы. Если объем камеры 200 *см*^{3}, а уровень радиации 1 *р/ч*, то

$$I_{нас} = 9{,}27 \cdot 10^{-14} \cdot 1 \cdot 200 \approx 2 \cdot 10^{-11} \text{ а}.$$

Для регистрации столь малых токов используются специальные методы.

Измерение дозы с применением ионизационной камеры. Всякая ионизационная камера, состоящая из двух электродов (проводников) и газовой среды (диэлектрика) между ними, обладает некоторой емкостью C; на ее электродах могут накапливаться электрические заряды. Если камеру подключить к источнику питания с напряжением $U_з$, то она получит заряд $q_з = CU_з$. При воздействии на камеру ионизирующих излучений образующиеся в ее рабочем объеме положительные ионы притягиваются к отрицательно заряженному электроду и нейтрализуют заряд на нем. Электроны притягиваются к положительному электроду камеры и также нейтрализуют его заряд. Заряд на камере уменьшается до величины $q_р$, а напряжение — до $U_р$.

Изменение заряда $q_з - q_р$ прямопропорционально числу образованных в камере пар ионов N и заряду каждого иона e. При дозе в 1 $р$ в 1 $см^3$ объема камеры образуется $2{,}08 \cdot 10^9$ пар ионов, а во всем ее объеме в V раз больше. Если на камеру воздействовала доза D, образующихся в ней ионов будет еще в D раз больше:

$$N = 2{,}08 \cdot 10^9 VD. \tag{146}$$

Следовательно, изменение заряда камеры при ее облучении

$$q_з - q_р = Ne = 2{,}08 \cdot 10^9 eVD. \tag{147}$$

Поскольку $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ $к$,

$$q_з - q_р = 2{,}08 \cdot 10^9 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} VD = 3{,}328 \cdot 10^{-10} VD. \tag{148}$$

Этому изменению заряда на камере соответствует уменьшение напряжения:

$$U_з - U_р = \frac{q_з - q_р}{C} = 3{,}328 \cdot 10^{-10} \frac{V}{C} D. \tag{149}$$

Таким образом, уменьшение заряда и напряжения на электродах камеры при ее облучении прямо пропорционально дозе D, если $U_з$ и $U_р$ камеры лежат в пределах области насыщения для всех воздействующих на камеру мощностей доз. Поэтому определять дозы с помощью камеры можно по изменению ее заряда или напряжения.

Измерение дозы и мощности дозы методом повторяющихся циклов разряда — заряда ионизационной камеры. Если при воздействии дозы D камера разряжается от напряжения $U_з$ до $U_р$, то вновь зарядив ее до $U_з$, можно повторно измерить дозу D. Общая доза в этом случае будет

$$D_{общ} = Dn, \tag{150}$$

где n — количество циклов разряда — заряда камеры.

Каждому циклу разряда — заряда соответствует образование одного отрицательного импульса напряжения на камере. Количест-

во импульсов напряжения на камере в единицу времени $f = \frac{n}{t}$ (где t — время, в течение которого образовалось n циклов) есть частота импульсов. Поскольку

$$P = \frac{D_{общ}}{t} = \frac{n}{t} D = fD, \qquad (151)$$

то отсюда следует, что мощность дозы P может быть определена по частоте импульсов напряжения на камере f при постоянстве дозы D, соответствующей одному импульсу (рис. 108).

Требования, предъявляемые к ионизационным камерам. Изменение температуры и влажности газа внутри ионизационной камеры приводит к изменению давления и плотности, появлению отрицательных ионов и изменению условий рекомбинации. Это неизбежно влияет на величину ионизационного тока. Поэтому для повышения точности измерений рабочий объем ионизационной камеры должен быть изолирован от окружающего пространства.

Ионизация среды гамма-излучением главным образом обусловлена действием вторичных электронов, которые могут возникать как в рабочем объеме камеры, так и в ее стенках и в окружающем пространстве. Количество и энергия электронов, образуемых в окружающем камеру пространстве, зависит от давления, температуры, влажности среды. Строгий учет влияния всех этих факторов практически невозможен; это вносит погрешности в измерения.

Однако, если толщину стенок ионизационной камеры сделать равной или несколько большей длины пробега электронов в веществе, из которого изготовлены стенки, то электроны из окружающего пространства не смогут попасть в рабочий объем камеры и отпадут связанные с этим погрешности измерений.

Количество электронов, образованных гамма-излучением в газе, наполняющем рабочий

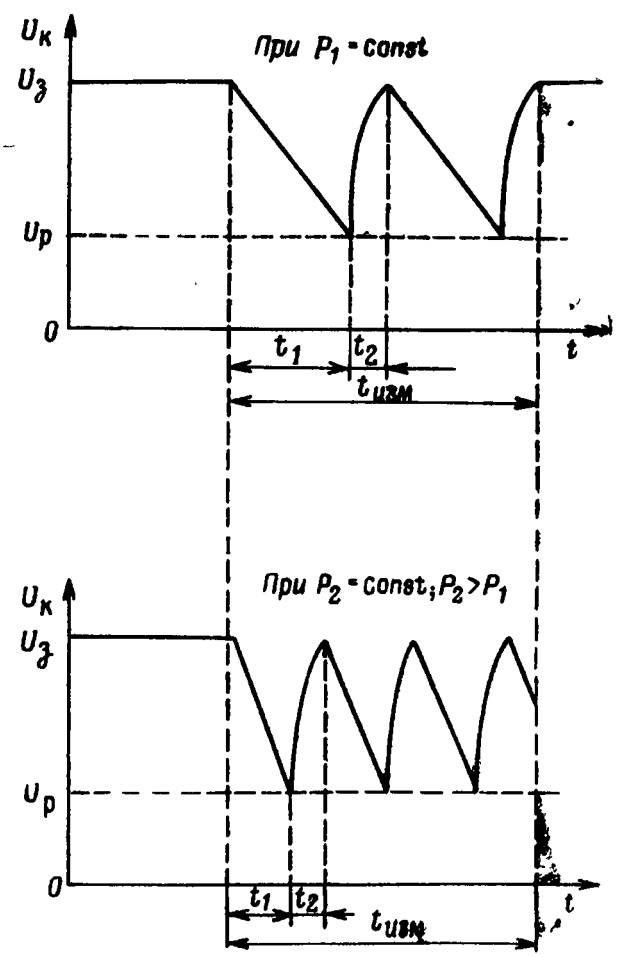


Рис. 108. Измерение дозы методом разряда — заряда ионизационной камеры. Чем больше мощность дозы P, тем меньше время t_1 нарастания импульсов и больше импульсов N образуется за время измерения $t_{изм}$

объем камеры, очень мало по сравнению с количеством электронов, образованных в веществе стенок камеры, так как пропорционально плотностям этих веществ. Поэтому ионизационный ток в основном определяется количеством и энергией возникших в стенках камеры и проникших в ее газовую среду электронов и, в конечном счете, зависит от энергии гамма-квантов и материала, из которого изготовлены стенки камеры.

Зависимость величины ионизационного тока от энергии гамма-квантов называется ходом с жесткостью. Ход с жесткостью — нежелательное явление, так как гамма-излучения с различными энергиями квантов при одной и той же мощности дозы вызывают неодинаковые ионизационные токи.

Поскольку мощность дозы и доза гамма-излучений определяются по эффекту ионизации воздуха, то процессы поглощения гамма-излучений стенками камеры должны протекать так же, как в воздухе, т. е. стенки камеры должны быть изготовлены из воздухоэквивалентных материалов. В таких камерах ионизационные токи пропорциональны мощностям доз (или дозам) гамма-излучений и не зависят от энергии гамма-квантов.

Малым ходом с жесткостью обладают алюминий и дюралюминий, которые применяются для изготовления стенок ионизационных камер. В алюминии, имеющем бóльшую плотность, чем воздухоэквивалентные вещества, под воздействием гамма-излучения образуется повышенное количество электронов, и при прочих равных условиях в камере с алюминиевыми стенками создается больший ионизационный ток. Такая камера более чувствительна.

Гамма-кванты очень малых энергий выбивают в веществе стенки камеры электроны, также обладающие малыми энергиями. Энергия таких электронов частично или полностью может быть поглощена в веществе самой стенки до их выхода в газ. Гамма-кванты больших энергий образуют и электроны больших энергий, которые лишь частично поглощаются газом внутри камеры. Поэтому при очень малых и очень больших энергиях гамма-квантов ионизационные токи в цепи камеры понижены и точность измерений с помощью камеры соблюдается лишь в определенном интервале энергий гамма-квантов.

Толстые стенки камеры для бета- и альфа-излучений непроницаемы. Вследствие этого в стенках камеры делаются входные окна, которые закрываются при регистрации бета-излучений алюминиевой фольгой толщиной в несколько десятков микрометров или этилцеллюлозной пленкой, а при регистрации альфа-излучений — слюдой или нейлоном толщиной в несколько микрометров. Через эти окна альфа- и бета-излучения проникают в рабочий объем камеры и ионизируют ее газовую среду.

Для регистрации нейтронных излучений рабочий объем ионизационной камеры наполняется борсодержащим газом или водородом, либо ее электроды покрываются твердым бором или водородсодержащими веществами (парафином). Нейтроны сами не произ-

водят ионизацию, но медленные нейтроны, взаимодействуя с бором, создают альфа-частицы, которые и вызывают сильную ионизацию в рабочем объеме камеры. Быстрые нейтроны, взаимодействуя с водородом, образуют ядра отдачи. Выбитое из атома ядро, несущее положительный заряд, производит ионизацию в рабочем объеме камеры.

Конструкция ионизационных камер. На рис. 109 показано устройство ионизационной камеры, применяемой в рентгенметре ДП-2. Она представляет собой воздухоэквивалентную пластмассовую коробку, покрытую с внутренней стороны слоем акводага — смеси графитного порошка с различными клеющими веществами.

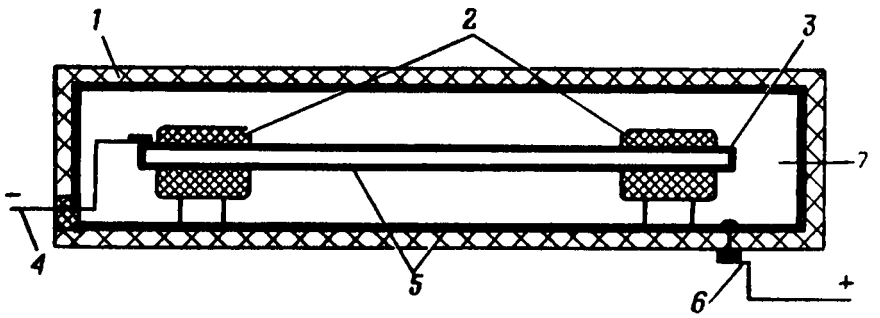


Рис. 109. Ионизационная камера рентгенметра ДП-2:

1 — пластмассовая коробка, покрытая изнутри акводагом — положительный электрод. *2* — фарфоровые изоляторы для крепления внутреннего электрода; *3* — пластмассовая пластина, покрытая со всех сторон акводагом — отрицательный электрод; *4* — вывод отрицательного электрода; *5* — акводаг — графитный токопроводящий слой; *6* — вывод внешнего электрода; *7* — воздух

В центре этой коробки на двух изоляторах закреплена пластина, также изготовленная из воздухоэквивалентной пластмассы и покрытая со всех сторон акводагом. Акводаг проводит электрический ток; покрытая им пластмассовая коробка становится токопроводящей и служит внешним электродом камеры, а пластина — внутренним. От электродов камеры сделаны электрические выводы наружу для подключения ее к схеме. Газовой средой камеры является воздух при нормальном давлении.

Рабочий объем камеры — 350 $см^3$, рабочее напряжение — 200 *в* (в камерах последних выпусков — 80 *в*). Напряжение подается положительной полярностью на внешний электрод камеры, а отрицательной — на внутренний электрод. Между электродами камеры возникает практически равномерное электрическое поле.

Несколько иную конструкцию имеет ионизационная камера в рентгенметре ДП-3 (рис. 110). В ней внешним положительным электродом является алюминиевый цилиндр, а внутренним отрицательным электродом — алюминиевый стержень, размещенный по оси цилиндра и закрепленный на изоляторе. Между внутренним и внешним электродами в изоляторе размещается охранное кольцо, которым уменьшается влияние токов утечки на результаты измерения прибора. Алюминиевый цилиндр с внутренней стороны покрыт акводагом; роль его в этом случае сводится к ослаблению фотоэффекта, который при малых энергиях гамма-квантов приводит к сущест-

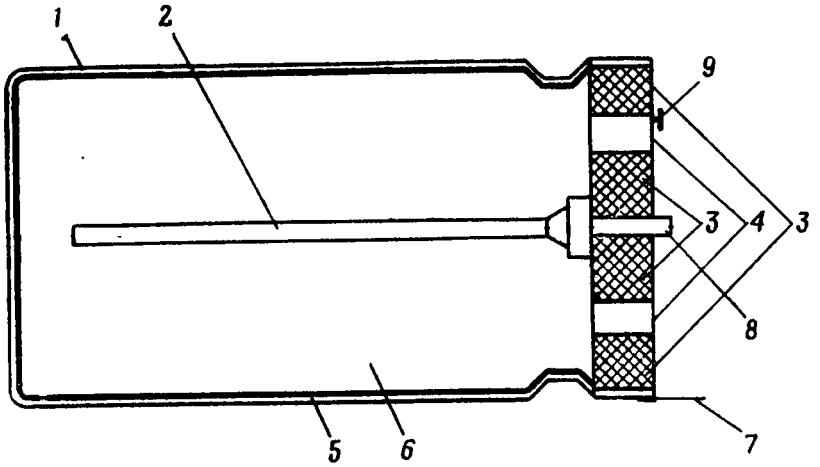


Рис. 110. Ионизационная камера рентгенметра ДП-3:

1 — алюминиевый цилиндр — положительный электрод; *2* — алюминиевый стержень — отрицательный электрод; *3* — изоляторы; *4* — охранное кольцо; *5* — акводаг; *6* — воздух; *7* — вывод положительного электрода; *8* — вывод отрицательного электрода; *9* — вывод охранного кольца

венному увеличению ионизационного тока (ход с жесткостью). Камера заполнена воздухом при нормальном давлении, герметичная и неразборная; рабочий объем ее 200 $см^3$, рабочее напряжение — 150 *в*.

В такой камере электрическое поле неравномерно. Напряженность его уменьшается от центрального отрицательного электрода к внешнему положительному электроду. Движущиеся по этому направлению электроны испытывают все более ослабевающее влияние электрического поля, поэтому ударная ионизация, вызываемая электронами, может наступить лишь при очень больших напряжениях между электродами камеры. Благодаря этому область насыщения вольтамперной характеристики расширяется и обеспечивается возможность регистрации более высоких мощностей доз.

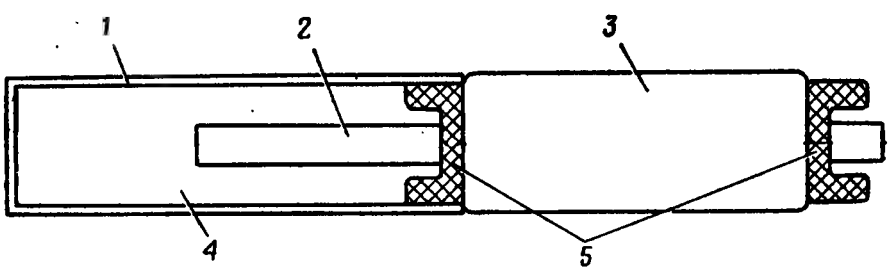


Рис. 111. Ионизационная камера дозиметра ДС-50:

1 — цилиндрический стакан из токопроводящей воздухоэквивалентной пластмассы — отрицательный электрод камеры; *2* — дюралюминиевый стержень — положительный электрод камеры и конденсатора; *3* — конденсатор — отрицательный электрод; *4* — воздух; *5* — изоляторы

На рис. 111 изображено устройство ионизационной камеры дозиметра ДС-50. Внешний электрод выполнен в виде стакана из воздухоэквивалентной токопроводящей пластмассы толщиной 1,5 *мм*, что обеспечивает поглощение образуемых излучением вне камеры внешних электронов с энергиями до 0,6 *Мэв* и независимость измерений от энергии гамма-квантов в пределах 0,03—

1,25 *Мэв*. Внутренним электродом служит дюралюминиевый стержень, продолжением которого является электрод конденсатора. Второй электрод конденсатора представляет собой алюминиевый кожух. В качестве диэлектрика конденсатора используется фторопласт. Внешний электрод камеры соединяется с внешним электродом конденсатора; поскольку внутренний электрод у них общий, конденсатор, емкость которого 500 *пф*, оказывается подключенным параллельно к камере. Камера с конденсатором размещается в герметично закрытом корпусе дозиметра, через который к ее внешнему электроду подключается отрицательный, а к внутреннему электроду через его удлиненный конец — положительный полюс источника питания.

Рабочий объем камеры — 2 $см^3$, он заполнен воздухом при нормальном давлении.

Камера используется для измерения доз и предварительно заряжается до напряжения 95 *в*, что обеспечивает ее работу в режиме насыщения при мощности доз 0,5—200 *р/ч*. Заряд на камере сохраняется в течение длительного времени, что обеспечивается высоким сопротивлением фторопластного диэлектрика конденсатора (10^{16}—10^{17} *ом*). Уменьшение заряда (саморазряд) камеры за сутки составляет не более 3%.

Параллельное подключение к камере конденсатора позволяет получить большую емкость системы камера — конденсатор, на которой происходит первоначальное накопление заряда. Как видно из формулы (149), одному и тому же изменению напряжения $U_з - U_р$ при большей емкости C соответствует воздействие на камеру большей дозы. Поэтому увеличение емкости позволяет при неизменной ширине области насыщения от $U_з$ до $U_р$ повысить верхний предел измерений доз, который для камеры дозиметра ДС-50 равен 50 *р*.

Аналогичной конструкцией обладает ионизационная камера дозиметра ДКП-50-А. Некоторые особенности ее заключаются в том, что толщина стенок равна 0,8 *мм*, внутренний электрод имеет U-образную форму, рабочий объем — 1,8 $см^3$, зарядное напряжение — 200 *в*.

§ 2. Газоразрядные счетчики

Газоразрядный счетчик представляет собой устройство, состоящее из двух электродов, между которыми находится газовая среда и создается электрическое поле. В отличие от ионизационной камеры, работающей в режиме насыщения, в счетчике используется режим ударной ионизации.

Газоразрядный счетчик (рис. 112) выполняется в виде тонкого металлического цилиндра, служащего его внешним отрицательным электродом. С торцов цилиндр закрыт изоляторами, между которыми натянута тонкая металлическая нить, являющаяся положительным электродом. Оба электрода соединяются с контактами. Пространство между электродами заполнено газом при пониженном давлении.

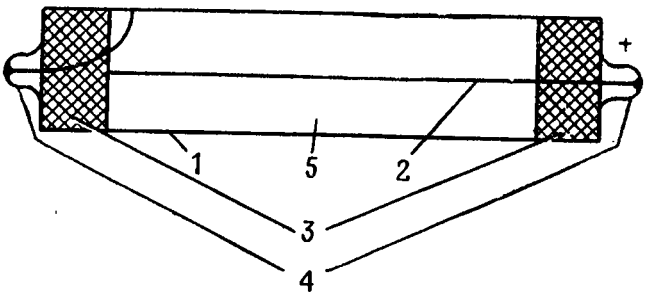


Рис. 112. Газоразрядный счетчик:

1 — металлический цилиндр — отрицательный электрод; *2* — тонкая металлическая нить — положительный электрод; *3* — изоляторы; *4* — выводные контакты; *5* — газовая среда — смесь инертных газов с галогенами при пониженном давлении

В таком счетчике между электродами создается неравномерное электрическое поле (рис. 113, *а*). Графически напряженность поля изображается плотностью (густотой) силовых линий. Даже при сравнительно небольших напряжениях между электродами в цилиндрических счетчиках можно получить большие напряженности электрического поля вблизи внутреннего электрода, особенно при малых диаметрах его. Характер изменения напряженности поля между электродами счетчика в зависимости от расстояния до центра счетчика показан на рис. 113, *б*.

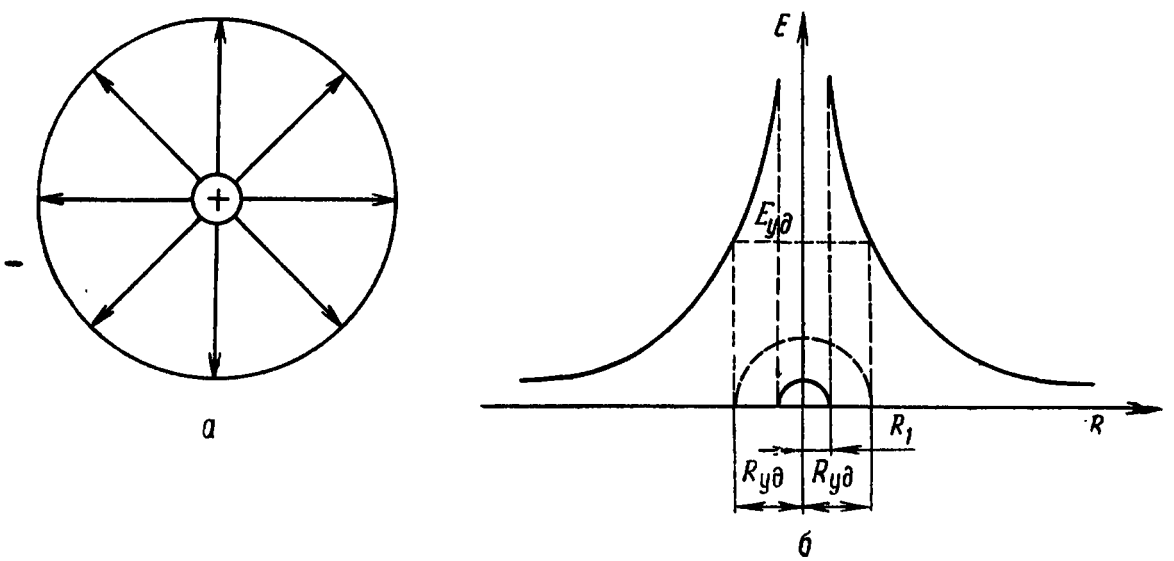


Рис. 113. Изменение напряженности электрического поля газоразрядного счетчика

Электрон, возникший в счетчике под воздействием ионизирующих излучений, перемещаясь от внешнего электрода к внутреннему, испытывает все возрастающее воздействие сил электрического поля и приобретает дополнительную скорость. Столкнувшись с атомами или молекулами наполняющего счетчик газа, электрон теряет свою скорость, но под действием сил электрического поля вновь приходит в ускоренное движение. В области, примыкающей к внутреннему электроду, где напряженность поля велика, электрон приобретает энергию, достаточную для производства ударной ионизации атомов и молекул наполняющего счетчик газа.

Если рабочий объем счетчика наполнить воздухом, то атомы присутствующего в нем кислорода, легко присоединяя к себе электроны, превращаются в отрицательные ионы. Эти частицы, как и образующиеся при ионизации положительные ионы, обладая большой массой, при одинаковой напряженности поля и одинаковом давлении газа проходят меньшие расстояния между двумя последовательными столкновениями и приобретают меньшие энергии, а следовательно, в меньшей по сравнению с электронами степени способны к ударной ионизации. Ударная ионизация в счетчике вызывается электронами. Чтобы исключить образование отрицательных ионов, рабочий объем счетчика заполняется не воздухом, а газами, атомы которых обладают незначительной способностью к захвату электронов. К ним, в частности, относятся инертные газы с полностью заполненными внешними электронными орбитами атомов — аргон, неон, гелий.

Давление газа внутри счетчика значительно меньше атмосферного. При этом уменьшается вероятность столкновения электронов с атомами и молекулами и между двумя очередными столкновениями они приобретают большие скорости и энергии, необходимые для ударной ионизации.

Газовый разряд в счетчике. Ударная ионизация носит в газоразрядном счетчике лавинообразный характер. Образованный ионизирующим излучением электрон, сталкиваясь с нейтральным атомом, производит его ионизацию, высвобождая новый электрон. Следующий этап ионизации вызывается уже двумя, затем четырьмя электронами и т. д.

Электроны, не обладающие достаточной энергией для ионизации, сталкиваясь с атомами и молекулами, производят их возбуждение. Возбужденные атомы и молекулы через некоторое время испускают кванты ультрафиолетового света — фотоны, которые в свою очередь ионизируют и возбуждают атомы и молекулы и, поглощаясь поверхностью металлического цилиндра, выбивают из него электроны. Эти электроны, двигаясь к положительному электроду, создают новые возбужденные молекулы и атомы газа и новые лавины электронов. Благодаря тому что фотоны распространяются во все стороны практически мгновенно, очень скоро процессом ударной ионизации охватывается область вокруг центральной нити по всей ее длине.

Процесс лавинообразной ударной ионизации и движения электронов к нити называется р а з р я д о м. Электроны, двигаясь с большой скоростью, примерно за 10^{-7} *сек*, притягиваются к положительной нити, переходя на нее из газовой среды. Вокруг нити остается пространственный заряд — плазма из положительных ионов, которые медленно перемещаются к внешнему цилиндру. Этот заряд уменьшает напряженность электрического поля вокруг центральной нити до величины, при которой ударная ионизация становится невозможной.

Когда положительные ионы достигнут корпуса, они, взаимодействуя с материалом стенки, вырывают с его поверхности электроны и нейтрализуются. Происходит восстановление напряженности электрического поля счетчика, а нейтрализовавшиеся атомы газа оказываются в возбужденном состоянии. Этот процесс протекает в течение 10^{-4} *сек*.

Возбужденные атомы переходят в основное состояние, испуская фотон ультрафиолетового света, который, взаимодействуя с корпусом счетчика, выбивает из него электрон. Этот электрон возникает, когда процесс предыдущей лавинообразной ионизации уже закончился и, двигаясь к положительному электроду, вызывает новую лавину ионов. Серия таких повторных ложных разрядов делает счетчик неспособным регистрировать ионизирующие частицы. Кроме того, если возникающие в счетчике возбужденные атомы возвращаются в основное состояние через 10^{-6}—10^{-8} *сек*, то испускаемые ими фотоны выбивают из отрицательного электрода счетчика электроны, которые не вызовут ложного разряда, так как в этот период работы счетчика напряженность его поля понижена и недостаточна для того, чтобы электрон мог произвести ударную ионизацию. Но среди возбужденных атомов инертных газов некоторая часть всегда находится в метастабильном состоянии и испускает фотоны через 10^{-3} *сек*, когда в счетчике заканчиваются процессы восстановления. Поэтому выбиваемый фотоном из отрицательного электрода электрон способен вызвать ложный разряд.

Для того чтобы погасить ложные разряды, применяются специальные меры, в зависимости от которых различаются несамогасящиеся и самогасящиеся счетчики.

В несамогасящихся счетчиках гашение разряда осуществляется с помощью электрических схем, которые обеспечивают уменьшение напряжения на электродах счетчика до тех пор, пока не будут нейтрализованы все положительные ионы.

В самогасящихся счетчиках рабочий объем, кроме инертных газов, заполняется парами многоатомных соединений или галогенами (бром, хлор). Энергия, необходимая для ионизации, к примеру брома или хлора, меньше энергии, затрачиваемой для ионизации аргона или неона; ионы аргона, сталкиваясь с молекулами брома или хлора непосредственно в объеме счетчика и обладая достаточной энергией, отрывают от них электрон, присоединяя его к себе. При этом ионы аргона и неона образуют возбужденные нейтральные атомы, которые испускают фотоны. Молекулы брома и хлора обладают большой способностью к поглощению этих фотонов, вследствие чего они не достигают корпуса счетчика. Возникающие при нейтрализации аргона и неона положительные ионы молекул брома и хлора также оказываются в возбужденном состоянии. Но переход возбужденных молекул брома и хлора в основное состояние сопровождается не испусканием фотонов, а диссоциацией молекул на атомы. Диссоциировавшие молекулы галогенов способны к рекомбинации, так что расход этих газов в процессе работы не проис-

ходит и диссоциация молекул не ограничивает срок службы счетчика. Таким образом, на электродах счетчика образуется отрицательный импульс напряжения, время нарастания которого порядка 10^{-7} *сек*, а время спада — порядка 10^{-4} *сек* (рис. 114).

Если в счетчик попадает ионизирующая частица, когда напряженность поля вблизи нити остается меньше необходимой для обеспечения ударной ионизации, то такая частица не вызовет импульса напряжения на его электродах и зарегистрирована счетчиком не будет. Время, в течение которого счетчик не реагирует на попадающие в него частицы, называется мертвым временем.

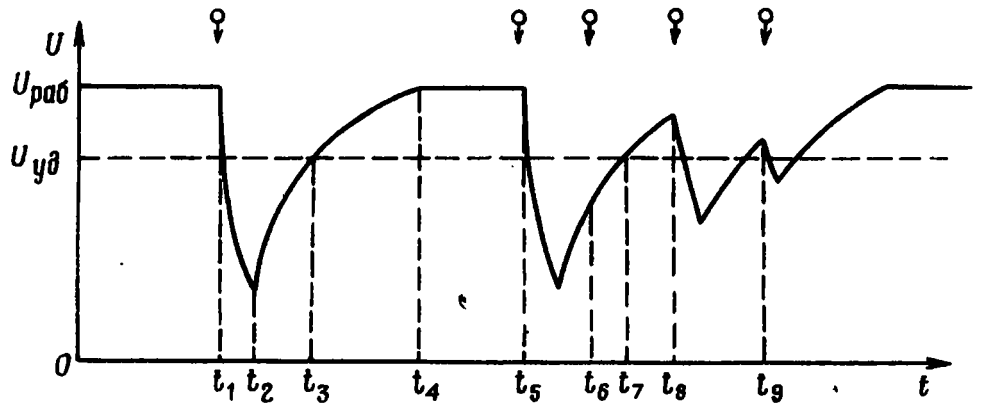


Рис. 114. График изменения напряжения на счетчике:

t_1, t_5, t_6, t_8, t_9 — моменты попадания в счетчик ионизирующих частиц; $t_1 - t_2$ — время нарастания импульса (порядка 10^{-7} *сек*); $t_2 - t_4$ — время спада импульса (порядка 10^{-4} *сек*); $t_1 - t_3$ и $t_5 - t_7$ — «мертвое» время; t_6 — напряжение на счетчике меньше $U_{уд}$ (импульс не образуется); t_8 и t_9 — напряжение на счетчике больше $U_{уд}$, но меньше $U_{раб}$ (образуются импульсы малой величины)

По мере перемещения положительных ионов к внешнему электроду напряженность поля вокруг нити восстанавливается. Время, необходимое для полного восстановления напряженности в счетчике, называется временем восстановления.

Частица, попадающая в счетчик после окончания мертвого времени, но до полного восстановления напряженности поля, вызовет на его электродах меньшие по величине импульсы, и тем меньше они будут, чем меньше напряженность поля счетчика.

Вольтамперная характеристика газоразрядного счетчика. Газоразрядный счетчик как система с двумя проводниками, разделенными диэлектриком, обладает емкостью. Если емкость счетчика C, а заряд каждого иона e, то общий заряд, достигший электродов счетчика, равен Ne, а импульс напряжения

$$U = \frac{q}{C} = \frac{Ne}{C}. \qquad (152)$$

Количество пар ионов N, образуемых в результате ударной ионизации, значительно больше первоначального количества пар ионов N_0, созданных непосредственным воздействием на счетчик ионизирующих излучений. Процесс увеличения количества ионов в газо-

вой среде, вызванный ударной ионизацией, называется газовым усилением, а отношение числа пар ионов, достигших электродов счетчика, к числу пар ионов, образованных в счетчике воздействием ионизирующих излучений, — коэффициентом газового усиления счетчика:

$$A = \frac{N}{N_0}. \tag{153}$$

Отсюда импульс напряжения на электродах счетчика может быть выражен как

$$U = A\frac{N_0 e}{C}, \tag{154}$$

т. е. благодаря явлению ударной ионизации импульс напряжения на электродах газоразрядного счетчика в A раз больше, чем импульс напряжения, получаемый в ионизационной камере, и может достигать значения в несколько десятков вольт. Это позволяет сравнительно просто обнаруживать отдельные частицы, попадающие в счетчик.

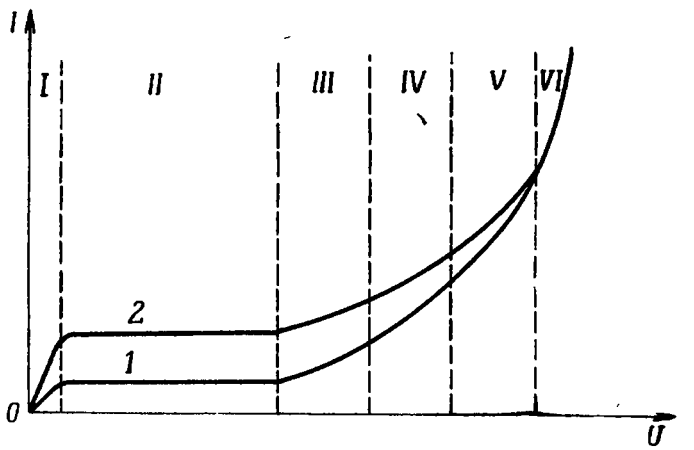


Рис. 115. Вольтамперная характеристика газоразрядного счетчика:

I — область рекомбинации; II — область насыщения; III — область пропорциональности; IV — область ограниченной пропорциональности; V — область самостоятельного разряда; VI — область непрерывного разряда

Коэффициент газового усиления A в зависимости от напряжения на электродах счетчика меняется в широких пределах — от 1 до 10^{10}. Соответственно изменяется и величина импульса напряжения на электродах счетчика и импульса тока в его цепи.

На рис. 115 показана зависимость величины импульса тока в цепи счетчика от напряжения между его электродами. Кривая *1* снята для случая попадания в счетчик бета-частиц, кривая *2* — для случая попадания в счетчик альфа-частиц. Различие в величинах амплитуд импульсов объясняется неодинаковой ионизирующей способностью излучений.

При подаче к электродам счетчика небольших напряжений лавинообразная ударная ионизация в нем отсутствует и счетчик ведет себя как ионизационная камера с характерными для нее областями рекомбинации и насыщения. С увеличением напряжения начинается процесс ударной ионизации, который первоначально ограничен в пространстве, примыкающем к центральной нити и равном длине пробега электрона: процесс ударной ионизации вдоль нити не распространяется. Количество пар ионов, попадающих на электроды счетчика, и величина импульса тока будут пропорциональны числу пар ионов, образованных ионизирующим излучением.

Область характеристики, в пределах которой соблюдается пропорциональность между числом пар ионов, образованных излучением, и величиной импульса счетчика называется пропорциональной областью. Счетчики, работающие в этой области, называются пропорциональными счетчиками.

Поскольку альфа-частицы обладают значительно большей ионизирующей способностью, чем бета-частицы и гамма-кванты, импульсы тока, вызванные в пропорциональном счетчике альфа-частицами, будут больше импульсов тока, вызванных бета-частицами и гамма-квантами. Это позволяет с помощью пропорциональных счетчиков легко обнаруживать альфа-частицы в присутствии бета- и гамма-излучений.

Коэффициент газового усиления A в пропорциональной области не зависит от числа пар первоначальных ионов, но резко зависит от напряжения на счетчике и меняется в пределах 1—1000, поэтому напряжение на пропорциональных счетчиках должно быть строго постоянным.

Дальнейшее увеличение напряжения на электродах счетчика приводит к тому, что все больше растет напряженность электрического поля и на больших расстояниях от центральной нити начинается процесс ударной ионизации, увеличивается вероятность распространения процесса ударной ионизации за счет испускания фотонов возбужденными молекулами и атомами, пропорциональность между величиной импульса и числом первоначально образованных пар ионов не соблюдается. Коэффициент газового усиления при малом числе пар первоначальных ионов больше, чем при большом числе их пар. С увеличением числа пар первоначальных ионов образуется большая плотность положительных ионов в пространственном заряде вблизи нити. При этом в большей степени уменьшается напряженность электрического поля счетчика, а коэффициент газового усиления A уменьшается.

Область вольтамперной характеристики, в пределах которой коэффициент газового усиления зависит и от напряжения, и от количества первоначально образованных пар ионов, называется областью ограниченной пропорциональности; для нее коэффициент газового усиления лежит в пределах 10^3—10^7. Область ограниченной пропорциональности практически не находит применения.

Дальнейшее увеличение напряжения на электродах счетчика приводит к увеличению напряженности поля, к резкому возрастанию количества образуемых ионов. При этом величина импульсов тока не зависит от количества пар ионов, образованных ионизирующим излучением.

Область вольтамперной характеристики, в пределах которой амплитуды не зависят от первоначальной ионизации, называется областью самостоятельного разряда, а счетчики, работающие в этой области, называются счетчиками с самостоятельным разрядом или счетчиками Гейгера—Мюллера. Коэффициент газового усиления в этих счетчиках зависит от напряжения и может достигать 10^7—10^{10}.

За пределами области самостоятельного разряда вольтамперной характеристики при еще больших напряжениях лежит область непрерывного разряда, которая характеризуется возникновением тока в цепи счетчика даже без воздействия ионизирующих излучений.

Счетная характеристика газоразрядного счетчика. Зависимость количества импульсов, возникающих в счетчике в единицу времени от напряжения на его электродах при постоянстве воздействующих ионизирующих излучений, называется счетной характеристикой газоразрядного счетчика (рис. 116).

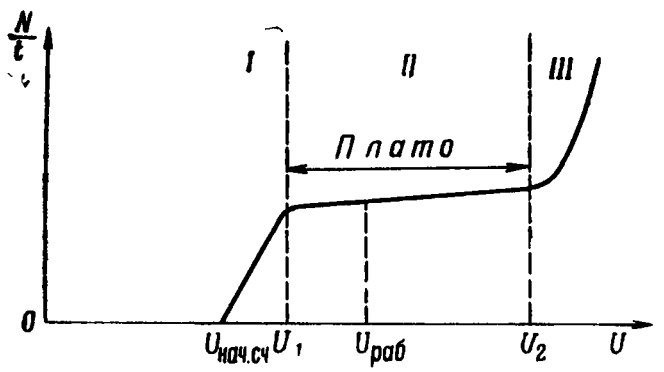


Рис. 116. Счетная характеристика счетчика

При малых напряжениях, соответствующих напряжениям области рекомбинации и области насыщения, в счетчике возникают столь слабые импульсы, что они не могут быть обнаружены. Когда напряжение на счетчике достигает некоторой величины, называемой напряжением начала счета, коэффициент газового усиления становится значительным и частицы, вызывающие ионизацию, создают в счетчике такие импульсы, которые могут быть зарегистрированы. Частицы, вызывающие слабую ионизацию, регистрироваться не будут. С дальнейшим увеличением напряжения на счетчике, сопровождающимся увеличением коэффициента газового усиления, растет количество регистрируемых счетчиком импульсов. Участок *I* счетной характеристики соответствует области пропорциональности и ограниченной пропорциональности вольтамперной характеристики.

При напряжениях, соответствующих области самостоятельного разряда, все импульсы, вызываемые попадающими в счетчик частицами, регистрируются. С ростом напряжения в этой области растут величины импульсов, но количество их в единицу времени остается постоянным. Участок счетной характеристики *II*, соответст-

вующий постоянству числа импульсов в единицу времени в некоторой области напряжений, называется плато. Небольшой подъем плато в сторону увеличения напряжения обусловлен возникновением ложных импульсов.

С дальнейшим увеличением напряжения резко растет число ложных импульсов (участок *III*).

Рабочим участком характеристики является плато, так как в этой области количество импульсов, регистрируемых счетчиком в единицу времени, не зависит от напряжения на счетчике и определяется только ионизирующими излучениями. Качество счетчика характеризуется шириной и наклоном плато: чем больше ширина плато, измеряемая в вольтах, и меньше его наклон, выражаемый в процентном изменении числа импульсов на каждые 100 *в* ширины плато, тем лучше счетчик.

Счетная характеристика счетчика в силу необратимых процессов в нем, связанных с диссоциацией молекул, при работе счетчика изменяется и подлежит периодической проверке. Рабочее напряжение на счетчике обычно выбирается в конце первой трети плато:

$$U_{раб} = U_1 + \frac{U_2 - U_1}{3}, \qquad (155)$$

что позволяет избежать больших неточностей измерения при изменении напряжения источников питания.

Измерение мощности дозы с применением газоразрядных счетчиков. Количество импульсов, возникающее в единицу времени в цепи газоразрядного счетчика, зависит не только от ионизирующих излучений, но и от эффективности счетчика. Эффективностью счетчика называется отношение количества возникших в нем в течение некоторого времени импульсов к числу частиц, прошедших за это же время через поверхность счетчика.

Эффективность счетчика по альфа- и бета-излучениям близка к 100%, а по гамма-излучению — около 2% и зависит от материала и толщины отрицательного электрода и энергии гамма-квантов. Это объясняется тем, что в случае гамма-излучений разряд в счетчике вызывается вторичными электронами, выбиваемыми гамма-излучением из стенок счетчика.

Таким образом, количество импульсов N, возникающих в единицу времени в счетчике, будет пропорционально количеству гамма-квантов $П$, проходящих в 1 *сек* через 1 *см*^{2} поверхности, перпендикулярной к направлению их распространения, площади поперечного сечения счетчика S и эффективности счетчика ε:

$$N = ПS\varepsilon. \qquad (156)$$

С другой стороны, мощность дозы P гамма-излучений пропорциональна количеству гамма-квантов $П$, проходящих в 1 *сек* через 1 *см*^{2} перпендикулярной к направлению их распространения поверх-

ности, линейному коэффициенту поглощения гамма-излучений в воздухе $\mu_л$ и энергии гамма-квантов E:

$$P = ПE\mu_л. \quad (157)$$

Отсюда

$$П = \frac{P}{E\mu_л}$$

и

$$N = \frac{S\varepsilon}{E\mu_л} P. \quad (158)$$

Следовательно, по количеству импульсов N, возникающих в единицу времени в счетчике, можно судить о мощности дозы P.

Измерение степени зараженности с применением газоразрядных счетчиков. Количество импульсов N, возникающее в счетчике в единицу времени, пропорционально активности источника ионизирующих излучений a:

$$N = \eta a.$$

Отсюда активность

$$a = \frac{N}{\eta}. \quad (159)$$

Для определения степени зараженности какого-либо объекта надо измеренную активность разделить на площадь (объем или вес) этого объекта.

Коэффициент η, называемый эффективностью счета, всегда меньше единицы, так как не каждый распад вызывает образование импульса в счетчике. Он вычисляется как произведение поправочных коэффициентов, учитывающих влияние определенных факторов на результаты измерений.

Испускаемые радиоактивным источником частицы распространяются во все стороны. Поэтому в счетчик попадает лишь часть из них, и тем большая, чем больше размеры счетчика и меньше расстояние между ним и источником. Количество попавших в счетчик частиц зависит также от размеров и от природы источника ионизирующих излучений. Соотношение (различие) между числом частиц и числом распадов учитывает коэффициент r (поправка на схему распада).

Излучения могут поглощаться в самом источнике, особенно сильно бета-частицы и гамма-кванты малых энергий. Это учитывается коэффициентом $K_{сп}$ (поправка на самопоглощение).

Частицы, проникающие в подложку, на которой находится источник, рассеиваются, и часть из них отражается в сторону счетчика. Эффект обратного рассеяния увеличивается с увеличением атомного номера вещества подложки и зависит от энергии частиц; он учитывается коэффициентом q (поправка на обратное рассеяние).

Зависимость результатов измерений от формы и размеров источника и счетчика и расстояния между ними учитывается коэффициентом ω (поправка на телесный угол).

Коэффициент $K_п$ учитывает поглощение излучений в стенках (окне) счетчика и в слое воздуха между источником и счетчиком (поправка на поглощение).

Коэффициент $K_{ср}$ учитывает рассеяние излучений в толще препарата (поправка на саморассеяние).

Эффективность счетчика, т. е. отношение числа частиц, вызвавших импульсы, к общему числу частиц, попавших в счетчик в единицу времени, учитывается коэффициентом ε (поправка на эффективность).

Эффективность счета

$$\eta = r \cdot K_{сп} \cdot q \cdot \omega \cdot K_п \cdot K_{ср} \cdot \varepsilon. \qquad (160)$$

В каждом счетчике возникают импульсы даже в отсутствие источников ионизирующих излучений. Они составляют естественный фон измерений, обусловленный наличием космических излучений, радиоактивными загрязнениями окружающих предметов и самопроизвольными разрядами в счетчике. Естественный фон для счетчиков определяется экспериментально и вычитается из результатов измерений.

Поскольку распад радиоактивного вещества подвержен статистическим колебаниям, то измерение активности источника должно производиться в течение достаточно длительного времени, исключающего влияние ошибок, связанных с этими колебаниями.

Конструкция газоразрядных счетчиков. Для регистрации бета- и гамма-излучений применяются металлические или стеклянные счетчики, называемые цилиндрическими, поскольку излучения проникают в них главным образом через боковую цилиндрическую поверхность.

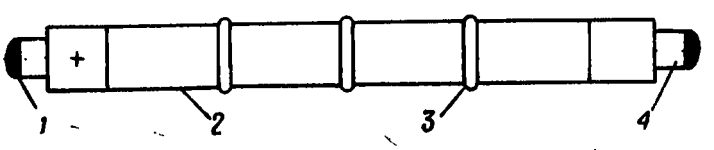


Рис. 117. Металлический цилиндрический счетчик СТС-5:

1 — выводной контакт положительного электрода; *2* — металлический цилиндр — отрицательный электрод; *3* — ребра жесткости для усиления прочности внешнего электрода; *4* — выводной контакт отрицательного электрода

Распространенные счетчики СТС-5 (рис. 117) и СТС-6 имеют стальной тонкостенный отрицательный электрод и являются самогасящимися галогенными. Для повышения прочности отрицательного электрода он выполняется гофрированным. Рабочее напряжение счетчиков 410±30 *в*, ширина плато 80—100 *в*, наклон плато 12,5% на 100 *в*, срок службы 10^9 импульсов.

Для измерения больших мощностей доз гамма-излучения применяются малочувствительные или малоэффективные счетчики с небольшим рабочим объемом. Отрицательным электродом в таких счетчиках служит тонкая стальная спираль, намотанная на стеклянную трубку, внутри которой по оси размещается положительный электрод (рис. 118). Конструкция помещается в стеклянный баллон, на котором имеются контакты, соединенные с электродами счетчика. В других счетчиках такого же типа в стеклянном баллоне размещаются электроды в виде небольшого металлического цилиндра и нити. Наполняются эти счетчики смесью инертных газов с галогенами при пониженном давлении.

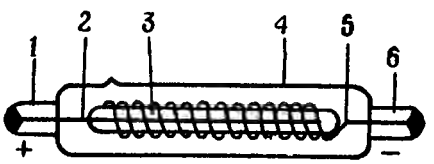


Рис. 118. Стеклянный счетчик СИ-3БГ:

1 — выводной контакт положительного электрода; *2* — положительный электрод; *3* — стеклянная трубка; *4* — стеклянный баллон; *5* — отрицательный электрод; *6* — выводной контакт отрицательного электрода

Счетчики типа СИ-3БГ, СИ-10БГ и СИ-11БГ имеют рабочее напряжение порядка 400 *в*, ширину плато 80 *в*, наклон плато — 25% на 100 *в*.

Для альфа-излучений (и бета-излучений малых энергий) применяются торцовые счетчики (рис. 119), называемые так потому, что частицы проникают в них через входное окно на торце. Они представляют собой стеклянный баллон, на внутренней поверхности которого нанесен тонкий слой меди, служащий отрицательным электродом. По центральной оси баллона укреплена стальная или вольфрамовая нить, являющаяся электродом. От обоих электродов сделаны выводы к наружным контактам. На конце положительного электрода имеется стеклянный шарик, благодаря которому устраняются ложные разряды. Входное окно закрыто тонкой слюдяной пленкой (2—10 *мг/см*^{2}). Так как механическая прочность слюдяной пленки невелика, то внутреннее давление в торцовых счетчиках близко к атмосферному.

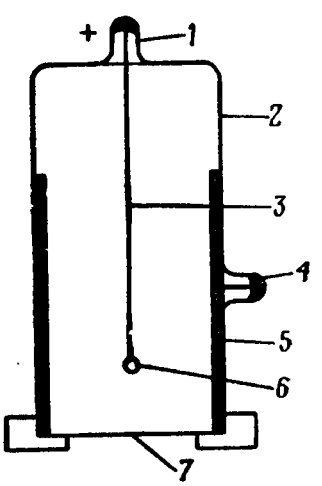


Рис. 119. Торцовый альфа-счетчик САТ-7:

1 — выводной контакт положительного электрода; *2* — стеклянный баллон; *3* — положительный электрод; *4* — выводной контакт отрицательного электрода; *5* — отрицательный электрод; *6* — стеклянный шарик; *7* — входное окно (слюда)

Альфа-частицы, проникая через входное окно и распространяясь вдоль оси счетчика, создают на своем пути колонну ионов большой плотности. Поскольку эта колонна оказывается перпендикулярной к силам электрического поля, то ионы разных знаков быстро расходятся друг от друга; этим уменьшается вероятность их рекомбинации.

Один из торцовых счетчиков — САТ-7 (счетчик, альфа, торцовый); он галогенный, имеет рабочее напряжение 360 *в*, ширину плато 60 *в*, наклон плато 15% на 100 *в*.

Для регистрации нейтронных излучений используются счетчики, наполненные борсодержа-

щими газами (BF_3) или водородом или с электродами, покрытыми твердым бором или водородсодержащими веществами. Такие счетчики работают при напряжениях около 1400 *в*, имеют плато шириною 200—250 *в*.

Газоразрядные счетчики требуют осторожного обращения с ними, так как давление внутри счетчика понижено и незначительные усилия могут привести к повреждению слюды и металлических тонкостенных цилиндров счетчиков. Поэтому при работе со счетчиками их следует держать за изоляторы и контакты, а не за металлический цилиндр; входное окно альфа-счетчиков в нерабочем положении должно быть закрыто защитной крышкой. Счетчики следует предохранять от сырости и пыли, порождающих поверхностные токи, от толчков и резких изменений температур, приводящих к механическим повреждениям и нарушению герметичности, от чрезмерно большой частоты импульсов, вызывающей усиленное разложение газа. Особое внимание следует обращать на правильность полярности подключения счетчика; положительный вывод на счетчиках обозначен знаком «+».

Глава II

СХЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, ФОРМИРОВАНИЯ И СЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ. СХЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

§ 1. Ламповый электрометр

Ламповым электрометром называется усилитель постоянного тока, предназначенный для измерения слабых электрических токов. Он позволяет ток порядка 10^{-12}—10^{-10} *а* усилить до величины, регистрируемой стрелочным электроизмерительным прибором.

На рис. 120 изображена одна из схем лампового электрометра. Эта схема является однокаскадным усилителем постоянного тока с катодной нагрузкой. Регистрирующий прибор (микроамперметр) и сопротивление нагрузки $R_н$ в этой схеме включены в катодный участок анодной цепи. На сетку лампы относительно катода подается отрицательное напряжение с потенциометра R_1. Через потенциометр R_1 проходит постоянный ток, создаваемый батареей $Б_1$, и образует на нижнем участке резистора R_1 падение напряжения, подаваемое положительной полярностью на катод, а отрицательной — на сетку лампы. Величина подаваемого на лампу отрицательного напряжения смещения $U_{с\,см}$ зависит от величины сопротивления нижнего участка резистора R_1 и может быть регулируема; она устанавливается соответственно нижней точке прямолинейного участка анодно-сеточной характеристики лампы (рис. 121). Батареей $Б_2$ через гасящее сопротивление $R_г$ создается ток накала лампы, а батареей $Б_3$ — ток анодной цепи.

При включенных источниках питания через участок анод — катод лампы, сопротивление $R_н$ и микроамперметр протекает начальный анодный ток I_{a_0}. Этот ток вызывает отклонение стрелки микроамперметра даже при отсутствии измеряемого тока I_x. Для установления стрелки прибора на нулевое деление шкалы, когда $I_x=0$, создана цепь компенсации, ток которой проходит через микроам-

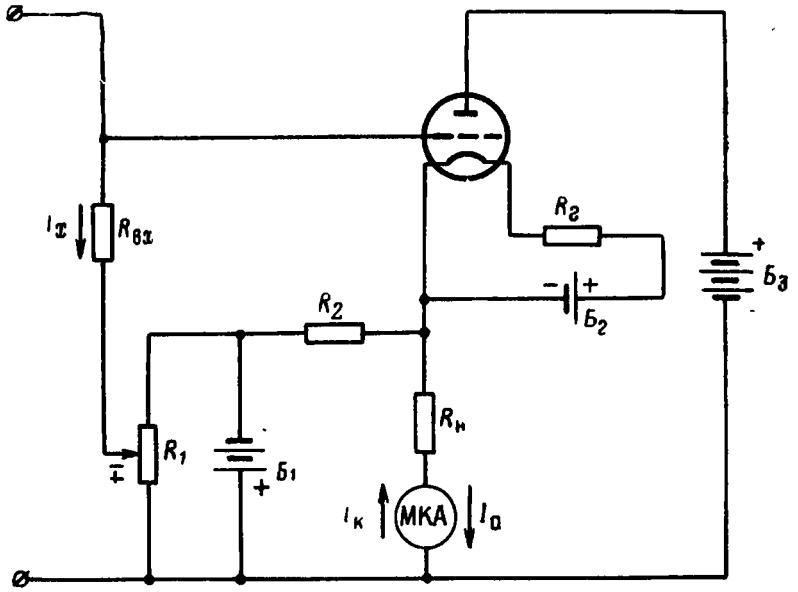


Рис. 120. Схема лампового электрометра

перметр в направлении, обратном направлению анодного тока. Источником питания этой цепи является батарея $Б_1$. Ток компенсации $I_к$ проходит через микроамперметр и резисторы $R_н$ и R_2. Регулируя резистор R_2, можно изменять ток компенсации и сделать его равным по величине начальному анодному току $I_к=I_{a_0}$. В этом случае результирующий ток через микроамперметр $I_п$ будет равен нулю, так как $I_п = I_{a_0} - I_к$, и стрелка прибора останется в нулевом положении.

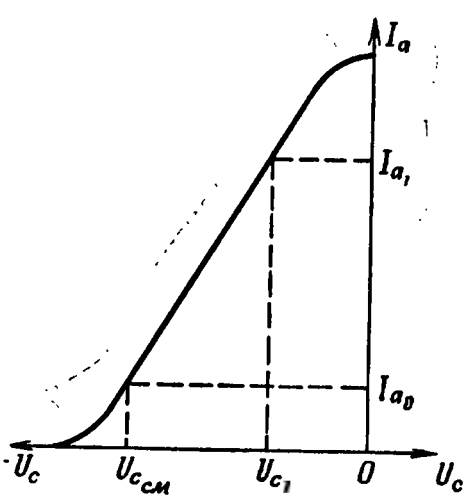


Рис. 121. Анодно-сеточная характеристика лампы электрометра

Измеряемый ток I_x пропускается через сопротивление $R_{вх}$ в таком направлении, чтобы создаваемое на нем падение напряжения $U_{вх} = I_x R_{вх}$ положительной полярностью подавалось на сетку лампы, а отрицательной—на катод. Тогда напряжение между катодом и сеткой U_{c_1} будет слагаться из $U_{вх}$ и $U_{c_{см}}$. Поскольку эти напряжения включены в цепь со встречной полярностью, то

$$U_{c_1} = -U_{c_{см}} + U_{вх} = -U_{c_{см}} + I_x R_{вх}. \qquad (161)$$

Следовательно, отрицательное напряжение на сетке будет уменьшаться и тем больше, чем больше измеряемый ток I_x. Соответственно этому увеличивается анодный ток до величины I_{a_1} (рис. 121). Приблизительно (без учета влияния выходной цепи на входную и наличия сопротивления $R_н$, которым, строго говоря, пренебрегать нельзя) изменение анодного тока

$$I_{a_1} - I_{a_0} = S\left(U_{c_1} - U_{c_{см}}\right) = SU_{вх} = I_x S R_{вх}, \qquad (162)$$

где $S = \dfrac{I_{a_1} - I_{a_0}}{U_{c_1} - U_{c_{см}}}$ — крутизна характеристики на прямолинейном участке.

Учитывая, что $I_к = I_{a_0}$, сила тока, протекающего через прибор, будет иметь величину

$$I_п = I_{a_1} - I_к = I_{a_1} - I_{a_0} = I_x S R_{вх}. \qquad (163)$$

Следовательно, показания микроамперметра будут равны величине изменения анодного тока и прямо пропорциональны величине измеряемого тока. (Влияние сопротивления $R_н$, вызывающего соответствующее уменьшение напряжения на аноде, так же, как и влияние выходной цепи на входную, сказывается на величине протекающего через прибор тока, но не нарушает прямой пропорциональной зависимости между измеряемым током и током через прибор.)

Таким образом, ток, проходящий через прибор, больше измеряемого примерно в $SR_{вх}$ раз. Чтобы получить достаточно большое значение усиления тока в ламповом электрометре, необходимо величину сопротивления $R_{вх}$ сделать очень большой; только в этом случае падение напряжения на сетке лампы при очень малых измеряемых токах может вызвать заметное изменение анодного тока. Подключаемое параллельно сопротивлению $R_{вх}$ сопротивление участка сетка — катод лампы должно иметь еще большую, по крайней мере на порядок, величину. Поэтому в схемах ламповых электрометров нашли широкое применение электрометрические лампы, обладающие очень большим входным сопротивлением — порядка 10^{13} *ом*.

Большое сопротивление между сеткой и катодом этих ламп обеспечивается поддержанием на сетке во всем диапазоне измерений отрицательного потенциала относительно катода, при котором отсутствуют сеточные токи.

Чтобы сохранить прямую пропорциональность между током прибора и напряжением на сетке, а тем самым и измеряемым током, лампа должна работать в пределах прямолинейного участка анодно-сеточной характеристики. Поскольку напряжение $U_{c\,см}$ является максимальным отрицательным в пределах прямолинейного участка, а при измерениях отрицательное напряжение на сетке умень-

шается, то выбором его исключается работа на нижнем криволинейном участке характеристики. Выбор измерительного прибора, предельное значение шкалы которого меньше значения тока в начале верхнего криволинейного участка и лежит в области отсутствия сеточных токов, исключает использование и верхнего криволинейного участка характеристики.

Сопротивления нагрузки $R_н$ и микроамперметра являются тем звеном, через которое осуществляется обратная связь выходной анодной цепи с входной сеточной. Напряжение смещения на сетке создается не только падением напряжения на сопротивлении R_1, но и падением напряжения на сопротивлениях $R_н$ и микроамперметра при прохождении через них анодного тока. Если по какой-либо причине (разрядилась анодная батарея $Б_3$ от напряжения U_{a_1} до напряжения U_{a_2}) произойдет уменьшение анодного тока от I_{a_1} до I_{a_2} (рис. 122), то станет меньше падение напряжения на сопротивлениях $R_н$ и микроамперметра. Отрицательное напряжение на сетке лампы уменьшится от U_{c_1} до U_{c_2}. Это вызовет увеличение анодного тока до прежней величины I_{a_1} прямолинейного участка характеристики, и тем самым обеспечивается работа лампы при постоянной крутизне ее характеристики S.

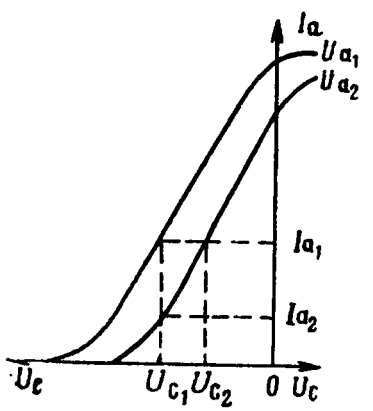


Рис. 122. Изменение режима работы лампы при автоматическом поддержании постоянства анодного тока

Таким образом, автоматически поддерживается неизменным коэффициент усиления электрометра, равный $SR_{вх}$, и при изменении напряжения других источников питания.

§ 2. Ламповый вольтметр

Ламповый вольтметр служит для измерения напряжений на элементах схемы, обладающих очень большим сопротивлением. В частности, с помощью лампового вольтметра можно измерить напряжение на конденсаторах. По своей схеме и принципу работы ламповые вольтметры не отличаются от ламповых электрометров.

Одна из практических схем ламповых вольтметров показана на рис. 123. На входе схемы включен емкостный делитель напряжения, состоящий из емкостей C и $C_{вх}$. Его необходимость обусловлена тем, что рабочий участок анодно-сеточной характеристики лампы лежит в интервале напряжений на сетке порядка двух вольт (от —4 до —2 *в*). Измеряемое напряжение U_x может составлять десятки вольт. При подведении напряжения к емкостному делителю величины напряжений на конденсаторах устанавливаются обратно пропорционально их емкостям. Напряжение $U_{вх}$ на конденсаторе $C_{вх}$ будет всегда во столько раз меньше измеряемого напряжения U_x, во сколько раз емкость $C_{вх}$ больше общей емкости $C_{общ}=\frac{CC_{вх}}{C+C_{вх}}$.

Следовательно,

$$U_x = U_{ax} \frac{C + C_{вх}}{C}$$

и

$$U_{вх} = \frac{C}{C + C_{вх}} U_x. \qquad (164)$$

Например, если ламповый вольтметр позволяет регистрировать напряжения от 0,12 до 2,3 *в*, то, используя емкостный делитель, уменьшающий напряжение в 41 раз, можно измерять напряжения от 5 до 95 *в*.

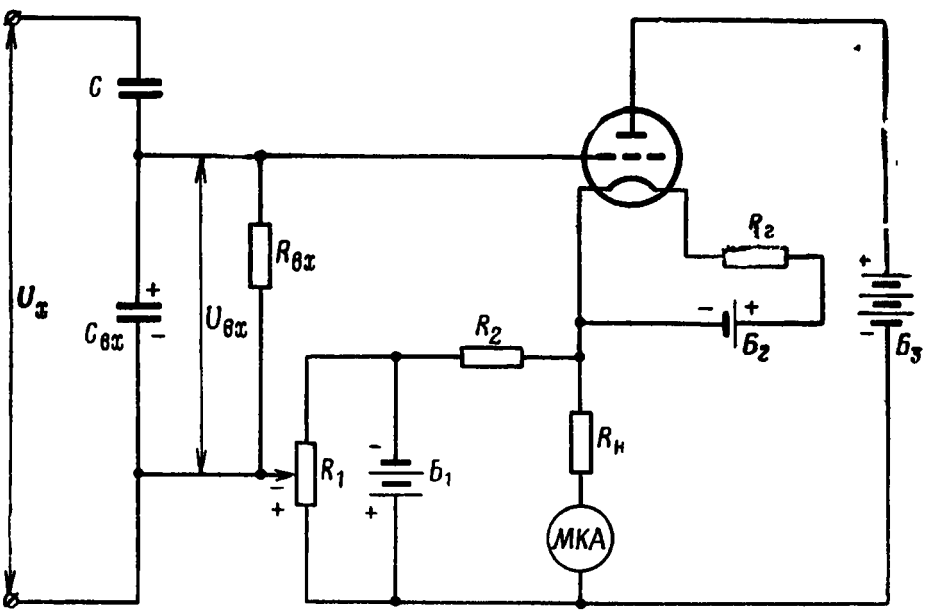


Рис. 123. Схема измерения напряжения ламповым вольтметром

В схеме лампового вольтметра сопротивление $R_{вх}$ служит для подачи на управляющую сетку начального напряжения смещения.

В ряде случаев удобно иметь обратно пропорциональную зависимость между измеряемой величиной и результатами измерения. С этой целью в приведенной схеме лампового вольтметра микроамперметр включен обратной полярностью по отношению к анодному току. Вследствие этого прохождение анодного тока I_{a_0} через прибор вызывает отклонение стрелки влево от нуля. Одновременно через прибор протекает ток компенсации $I_к$ в направлении, противоположном анодному. Величина тока $I_к$ устанавливается такой, чтобы стрелка отклонилась на всю шкалу прибора. В этом случае через прибор проходит максимальной величины ток:

$$I_{п_{макс}} = I_к - I_{a_0}. \qquad (165)$$

Если к емкостному делителю напряжения будет подано измеряемое напряжение U_x, то это приведет к появлению на емкости $C_{вх}$ напряжения $U_{вх}$, которое положительной полярностью подается на

сетку лампы. Это вызовет уменьшение отрицательного напряжения на сетке лампы на величину $U_{вх}$ и соответствующее увеличение анодного тока до величины I_{a_1}.

Приблизительно* увеличение анодного тока

$$I_{a_1} - I_{a_0} = SU_{вх}. \qquad (166)$$

Ток через прибор при этом уменьшается:

$$I_п = I_к - I_{a_1} = I_к - I_{a_0} - SU_{вх} = I_{п_{макс}} - SU_{вх}. \qquad (167)$$

Стрелка микроамперметра отклонится в сторону нуля. Чем меньше измеряемое напряжение, тем больший ток пройдет через прибор и тем больше отклонение стрелки от нуля. Такой метод измерений применяется в приборе ДП-23А, в котором камеры ДС-50 предварительно заряжаются до $U_з = 95$ *в*.

§ 3. Измерение электрического заряда с помощью электроскопа

Электроскоп является электростатическим электрометром, в котором отсутствуют вспомогательные электрические поля. Он применяется для измерения заряда. Достоинством электроскопов является простота конструкции и малые габариты.

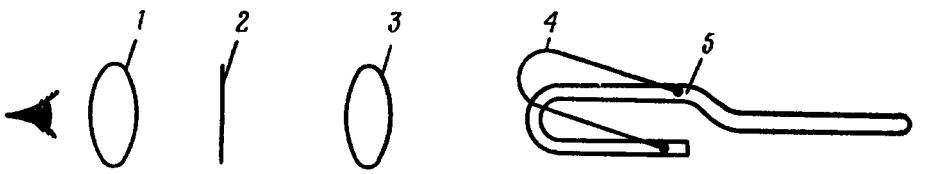


Рис. 124. Измерение заряда с помощью электроскопа:
1 — окуляр; *2* — шкала; *3* — объектив; *4* — кварцевая нить; *5* — U-образный электрод

Принцип устройства электроскопа показан на рис. 124. Его электрод выполнен в виде U-образного алюминиевого стержня, к которому прикреплена также U-образная кварцевая или стекловолокнитовая нить толщиной 3—20 *мкм*, покрытая тонким слоем золота или платины. Нить крепится к электроду концами, ее средняя часть остается свободной. Электрод закреплен в изоляторе из полистирола или янтаря.

Поскольку на электрод и на кварцевую нить при измерении заряда попадают заряды одного знака, то между ними возникают силы отталкивания и кварцевая нить средней своей частью отклоняется от электрода тем больше, чем больше заряд поступает на электрод. Для наблюдения отклонения нити используется микроскоп, позволяющий регистрировать положение отбрасываемой нитью тени на специальной шкале.

---

* Без учета влияния анодной цепи на сеточную и наличия нагрузки в анодной цепи.

§ 4. Интегрирующая цепочка

Интегрирующей цепочкой называется электрическая схема, напряжение на выходе которой пропорционально интегралу по времени от входного напряжения:

$$U_{вых} = \int U_{вх} dt. \tag{168}$$

В схемах дозиметрических приборов интегрирующие цепочки используются для определения частоты поступающих на вход импульсов.

Интегрирующие цепочки состоят из сопротивлений и емкостей. Входное напряжение подводится к последовательно соединенным сопротивлению и емкости, а выходное снимается с емкости (рис. 125):

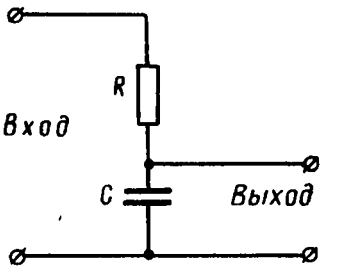


Рис. 125. Схема интегрирующей цепочки

$$U_C = U_{вых}.$$

Входное напряжение распределяется между элементами интегрирующей цепочки таким образом, что в любой момент времени

$$U_{вх} = U_R + U_C,$$

где $U_R = iR$ — падение напряжения на сопротивлении R;

$$U_C = U_{вых} = \frac{1}{C} \int i dt, \tag{169}$$

так как ток интегрирующей цепочки

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_C}{dt}$$

и

$$dU_C = \frac{1}{C} i dt,$$

а после интегрирования

$$U_C = \frac{1}{C} \int i dt.$$

Таким образом, входное напряжение можно выразить следующим соотношением:

$$U_{вх} = iR + \frac{1}{C} \int i dt. \tag{170}$$

Если в интегрирующую цепочку включить сопротивление R очень большой величины, то $U_R = iR$ будет значительно больше $U_C = \frac{1}{C}\int idt$ и величиной U_C можно пренебречь. Тогда $U_{вх} \approx U_R$ и $i \approx \frac{U_{вх}}{R}$, а

$$U_{вых} \approx \frac{1}{RC}\int U_{вх}dt = \frac{1}{\tau}\int U_{вх}dt, \qquad (171)$$

где $RC = \tau$ — постоянная времени.

Чем больше сопротивление R, тем больше падение напряжения на резисторе и меньше выходное напряжение на конденсаторе C, но при этом более обоснованным становится равенство $U_{вх} = U_R$ и форма выходного напряжения более точно соответствует математическому выражению интеграла входного напряжения.

В схемах дозиметрических приборов применяется интегрирующая цепочка, состоящая из параллельно соединенных емкости и сопротивления (рис. 126).

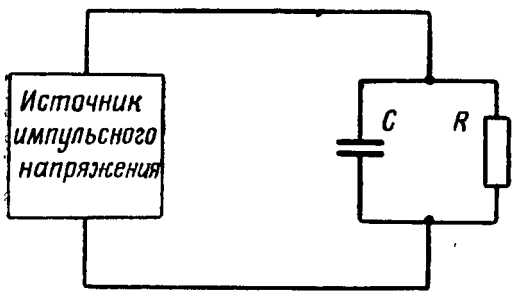


Рис. 126. Схема интегрирующей цепочки с параллельным включением конденсатора и резистора

Входные импульсы напряжения производят заряд конденсатора интегрирующей цепочки, проходя через сопротивление источника напряжения $R_и$. Для обеспечения процесса интегрирования постоянная времени цепи заряда $\tau_з$ должна быть очень большой.

Разряд конденсатора C происходит через включенное в интегрирующую цепочку сопротивление R, величина которого больше величины сопротивления источника напряжения. Поэтому постоянная времени цепи заряда $\tau_з = R_и C$ будет меньше постоянной времени цепи разряда $\tau_р = RC$.

В момент поступления на вход интегрирующей цепочки импульса напряжения ее конденсатор начнет заряжаться (рис. 127). Вследствие большой постоянной времени цепи заряда напряжение на конденсаторе не успеет достичь величины импульса к моменту его прекращения. После прекращения действия импульса конденсатор будет разряжаться и напряжение на нем уменьшится. Так как разряд конденсатора происходит медленнее, чем заряд, то за время паузы в следовании импульсов конденсатор не успеет полностью разрядиться и к моменту прихода следующего импульса на нем сохранится некоторое напряжение. Вторым импульсом конденсатор зарядится дополнительно уже до большего напряжения, чем при первом, и после разряда во второй паузе на нем сохранится большее напряжение, чем после первой. Прирост напряжения на конденсаторе во время импульсов происходит по экспоненциальному закону и будет больше в начале процесса заряда конденсатора.

По мере заряда конденсатора увеличение напряжения на нем под действием импульса уменьшается. Наоборот, уменьшение напряжения на конденсаторе во время паузы сначала происходит медленнее, а по мере заряда конденсатора, когда напряжение на нем растет и пропорционально ему растет ток разряда, быстрее. По истечении некоторого времени с момента поступления первого импульса

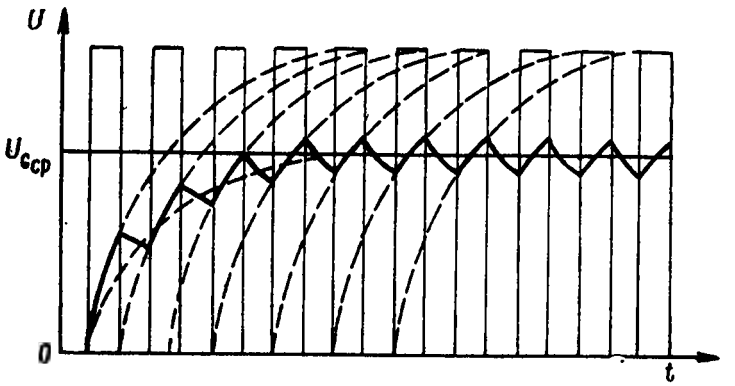


Рис. 127. Напряжение на конденсаторе интегрирующей цепочки

на конденсаторе устанавливается режим динамического равновесия, при котором увеличение напряжения во время импульса равно уменьшению напряжения во время паузы, и напряжение на конденсаторе характеризуется средней величиной $U_{C_{ср}}$.

Через сопротивление R будет проходить средней величины разрядный ток

$$I_{р_{ср}} = \frac{U_{C_{ср}}}{R}. \qquad (172)$$

В установившемся режиме среднее значение разрядного тока равно среднему значению зарядного тока $I_{р_{ср}} = I_{з_{ср}}$. Если каждый импульс напряжения сообщает конденсатору заряд q, а в течение 1 *сек* на конденсатор поступает N импульсов напряжения, то $I_{з_{ср}} = qN$ и $I_{р_{ср}} = qN$. Отсюда частота следования импульсов

$$N = \frac{I_{р_{ср}}}{q}. \qquad (173)$$

По величине разрядного тока конденсатора можно судить о частоте прохождения импульсов через интегрирующую цепочку. Для измерения этого тока в интегрирующую цепочку последовательно с сопротивлением R включается электроизмерительный прибор. При этом следует иметь в виду, что среднее значение разрядного тока устанавливается в интегрирующей цепочке не сразу, и поэтому отсчет показаний прибора необходимо производить спустя некоторое время (до десятков секунд и больше) после начала прохождения импульсов через цепочку.

Чтобы обеспечить постоянство сообщаемого конденсатору заряда q каждым импульсом, последние должны быть одинаковыми по форме, величине и длительности.

§ 5. Схемы ограничения

Ограничителями называются устройства, напряжение на выходе которых остается практически постоянным, когда напряжение на входе превышает некоторую определенную величину.

Ограничивать можно как положительные напряжения (по максимуму), так и отрицательные (по минимуму). Значения уровня ограничения зависят от параметров и режима работы ограничителя.

В схемах дозиметрических приборов ограничение применяется для получения импульсов одинаковой величины и формы, для устранения импульсов нежелательной полярности и т. д.

Схема диодного ограничения с последовательно включенным диодом. Схема ограничителя с диодом $Д$, включенным последовательно с сопротивлением R, показана на рис. 128.

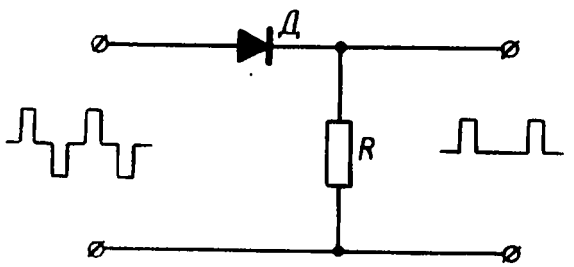


Рис. 128. Схема ограничителя с последовательно включенным диодом

При подаче на вход схемы положительного импульса напряжения через диод и сопротивление пойдет ток, образуя падение напряжения на диоде $U_д = IR_д$ и на сопротивлении $U_R = IR$. При этом

$$U_R = U_{вых}, \text{ а } U_{вх} = U_д + U_R.$$

Поскольку сопротивление диода $R_д$ при прохождении через него тока значительно меньше величины сопротивления R, то падением напряжения на диоде практически можно пренебречь, и выходное напряжение на сопротивлении R будет мало отличаться от входного ($U_{вых} \approx U_{вх}$).

Для отрицательного импульса сопротивление диода чрезвычайно велико, ток в цепи будет отсутствовать и падения напряжения на сопротивления R не будет: ($U_{вых} = 0$).

Таким образом, на выходе схемы создаются импульсы только положительной полярности, а отрицательные импульсы ограничиваются

Схема диодного ограничения с параллельно включенным диодом. Одна из возможных схем ограничения с параллельным включением диода показана на рис. 129.

При прохождении через схему положительного импульса сопротивление диода $R_д$ значительно меньше сопротивления R. Ток будет проходить через сопротивление $R_{огр}$ и диод, образуя на них падение напряжения. Если соблюдается условие $R_{огр} \gg R_д$, то падение напряжения на диоде будет ничтожно мало и им можно пренебречь. Следовательно, положительный импульс такой схемы полностью ограничивается.

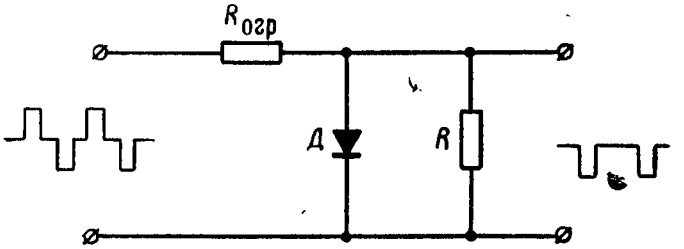


Рис. 129. Схема ограничителя с параллельно включенным диодом

По отношению к отрицательному импульсу диод обладает значительным сопротивлением. В этом случае ток проходит через сопротивления $R_{огр}$ и R и напряжение входного импульса распределяется между ними пропорционально их величинам. На выходе схемы создаются отрицательные импульсы.

При необходимости получить ограничение не на уровне нуля, а при некотором значении импульса последовательно с диодом включается источник постоянного напряжения (рис. 130, *а*); им может быть и делитель напряжения (рис. 130, *б*). Напряжение этого источника (E_1 или U_1) подается к диодам обратной полярностью и запирает их. Сопротивления диодов очень велики, и ток входных импульсов будет протекать через сопротивления $R_{огр}$ и R, создавая на них падение напряжения. В момент когда величина входного импульса станет равной напряжению запирания диода, разность потенциалов между полюсами диода окажется равной нулю, и при дальнейшем увеличении величины входного импульса диод откроется. Параллельно току через сопротивление R пройдет ток через диод $Д$. Это увеличит общий ток, протекающий через сопротивление $R_{огр}$, и падение на нем входного напряжения, вслед-

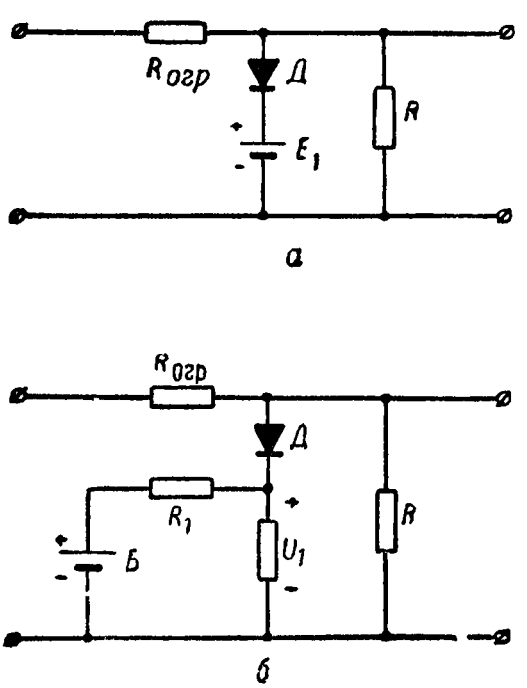


Рис. 130. Схемы ограничителей с параллельно включенным диодом и уровнем ограничения, отличным от нуля

ствие чего напряжение на сопротивлении R не может превзойти величины запирающего напряжения.

Схема измерения частоты импульсов с параллельно-последовательным включением диодов и интегрирующей цепочкой. На рис. 131 показана схема, с помощью которой производится подсчет количества импульсов одной полярности в единицу времени. Элементы счетной схемы на рисунке обведены пунктиром.

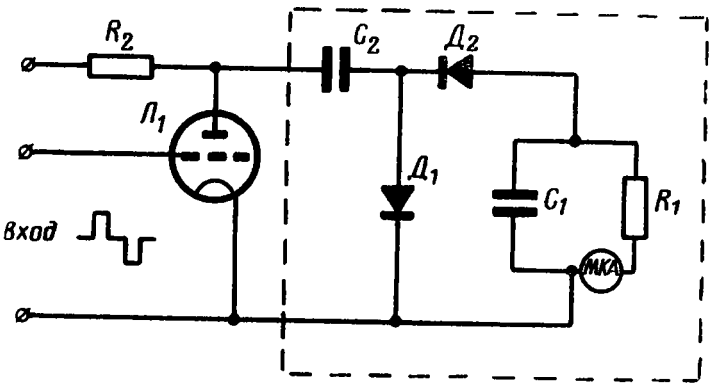


Рис. 131. Схема измерения частоты импульсов с параллельно-последовательным включением диодов и интегрирующей цепочкой

Если на вход лампы $Л_1$ подается отрицательный запирающий импульс напряжения, то ток через нее и через сопротивление R_2 прекращается. Падения напряжения на сопротивлении R_2 не будет, а напряжение между катодом и анодом лампы возрастет. На аноде лампы образуется усиленный положительный импульс напряжения, который поступает на вход счетной схемы. Этим положительным импульсом заряжается конденсатор C_2 через диод $Д_1$.

При прохождении положительного импульса диод $Д_1$ открыт и имеет небольшое сопротивление, которым шунтируется интегрирующая цепочка R_1C_1. Диодом $Д_1$ подаваемый на вход схемы положительный импульс ограничивается и на интегрирующую цепочку не поступает. Кроме того, ток заряда конденсатора C_2 не пройдет через интегрирующую цепочку еще и потому, что последовательно с ней включен диод $Д_2$, на который положительный импульс подается обратной полярностью.

Когда на сетке лампы $Л_1$ прекратится действие запирающего отрицательного импульса, лампа откроется, через нее и сопротивление R_2 потечет ток. На сопротивлении R_2 образуется падение напряжения, что вызовет уменьшение напряжения на аноде, т. е. появление на входе счетной схемы отрицательного импульса. Так как при этом конденсатор C_2 оказывается заряженным до большего напряжения, чем напряжение на аноде, то он начнет разряжаться через промежуток анод— катод лампы $Л_1$, конденсатор C_1 и диод $Д_2$. Импульс на входе счетной схемы отрицательной полярностью будет приложен к диоду $Д_1$, вследствие чего диод запирается. Ток разря-

да конденсатора C_2 потечет через конденсатор C_1 интегрирующей цепочки. Конденсатор C_1 заряжается

Во время паузы между импульсами конденсатор C_1 разряжается через резистор R_1. Поскольку постоянная времени интегрирующей цепочки $\tau = R_1C_1$ достаточно велика, то конденсатор C_1 не успевает разрядиться во время паузы. Чем чаще импульсы и больше поступает их в единицу времени на вход схемы, тем меньше пауза и меньше разряжается конденсатор C_1. Устанавливающееся при этом среднее значение напряжения между пластинами конденсатора C_1 и среднее значение тока его разряда через резистор R_1 будут пропорциональны частоте поступления импульсов на вход счетной схемы.

§ 6. Релаксационный генератор с использованием тиратрона

Релаксационными генераторами называются устройства, в процессе работы которых образуются импульсы напряжения, форма которых отлична от синусоидальной.

Принцип работы релаксационных генераторов состоит в том, что в этих устройствах время накопления электрической энергии (зарядов) на конденсаторе или магнитной энергии в катушках индуктивности резко отличается от времени отдачи накопленной энергии другим элементам цепи, причем процесс накопления энергии может идти медленно, а процесс ее отдачи быстро, или наоборот. Время, в течение которого запас энергии на накопителе уменьшается в e раз, называется временем релаксации. В релаксационных генераторах процессы накопления и отдачи энергии периодически повторяются.

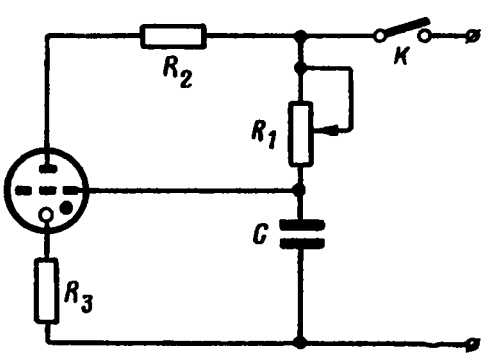


Рис. 132. Схема релаксационного генератора с тиратроном

На рис. 132 показана схема релаксационного генератора с тиратроном. На анод тиратрона подается положительный потенциал по отношению к катоду, величина которого недостаточна для того, чтобы в газовой среде тиратрона начался разряд. Тиратрон оказывается запертым и имеет очень большое сопротивление. Сетка тиратрона подключена к конденсатору C, и напряжение на ней, как и на конденсаторе, в исходный момент равно нулю. С момента включения схемы конденсатор начинает постепенно заряжаться через сопротивление R_1. Время заряда конденсатора определяется постоянной времени цепи заряда $\tau_3 = R_1C$. Когда напряжение на конденсаторе и на подключенной к нему сетке достигает величины, равной порогу зажигания тиратрона, на участке сетка — катод начинается ионизация газа, которая быстро приобретает лавинообразный характер и охватывает весь газовый объем лампы.

Появление в тиратроне большого количества свободных электрических зарядов приводит к уменьшению сопротивления тиратрона и через него от анода к катоду проходит ток. Тиратрон открывается. Ток тиратрона проходит через сопротивление R_3, создавая на нем падение напряжения. Одновременно конденсатор C будет разряжаться через тиратрон, обладающий малым сопротивлением $R_т$, и резистор R_3. Постоянная времени цепи разряда конденсатора $\tau_р = (R_т + R_3)\,C$ значительно меньше постоянной времени цепи заряда $\tau_з = R_1C$. Поэтому процесс разряда конденсатора будет идти интенсивнее процесса заряда и напряжение на нем и на сетке тиратрона быстро уменьшится до величины порога гашения тиратрона. При этом ионизация в газе и прохождение тока через тиратрон прекратится. Конденсатор начнет вновь заряжаться и описанные явления в схеме будут повторяться. Таким образом, прохождение тока через тиратрон и образование падения напряжения на сопротивлении R_3 носит импульсный характер.

Параллельно с ионизацией атомов газа в тиратроне происходит процесс рекомбинации ионов в нейтральные атомы. Каждому акту рекомбинации сопутствует излучение фотона света. Поэтому прохождение импульса тока через тиратрон сопровождается яркой вспышкой. Частота образованных импульсов в генераторе зависит от времени заряда и разряда конденсатора C. Изменение величины R_1 позволяет изменять время заряда конденсатора C и, следовательно, частоту генерируемых импульсов.

Схемы релаксационных генераторов на тиратронах используются в дозиметрической аппаратуре для световой индикации работы прибора и преобразования постоянного напряжения в импульсное.

§ 7. Нормализатор импульсов с использованием тиратрона

Нормализатор импульсов представляет собой релаксационную схему, в которой возбуждение колебаний вызывается внешними запускающими импульсами. Он предназначен для преобразования разных по форме, величине и длительности импульсов в одинаковые при сохранении неизменной их частоты.

На рис. 133 показана схема нормализатора импульсов с одним устойчивым состоянием, в работе которой используется тиратрон. На вход этой схемы (на промежуток сетка — катод) подаются импульсы, величина, форма и длительность которых может быть различной.

В исходном состоянии тиратрон заперт и ток через него не проходит, так как подаваемое на анод тиратрона напряжение недостаточно для того, чтобы вызвать ионизацию газа в нем. Конденсатор C_2 заряжен. Время заряда конденсатора определяется постоянной времени заряда $\tau_з = R_2C_2$. Напряжение заряда конденсатора U_{C_2} равно напряжению источника питания $U_а$.

При подаче на вход запускающего импульса, по величине равного или превосходящего напряжение зажигания тиратрона, на уча-

стке сетка — катод начинается ионизация газа, которая быстро охватывает весь объем тиратрона. Сопротивление тиратрона резко уменьшается, конденсатор C_2 разряжается через тиратрон и конденсатор C_1. В процессе разряда конденсатора C_2 напряжение на нем, падая, достигает напряжения гашения тиратрона. Ионизация газа в тиратроне прекращается, его сопротивление резко увеличивается; прекращается разряд конденсатора C_2 через тиратрон. Одновременно прекращается заряд конденсатора C_1, который начнет разряжаться через резистор R_1. Конденсатор C_2, подключенный к источнику питания, вновь зарядится через резистор R_2 до напряжения, равного U_a, и будет оставаться заряженным до прихода следующего импульса, после чего все описанные процессы повторяются.

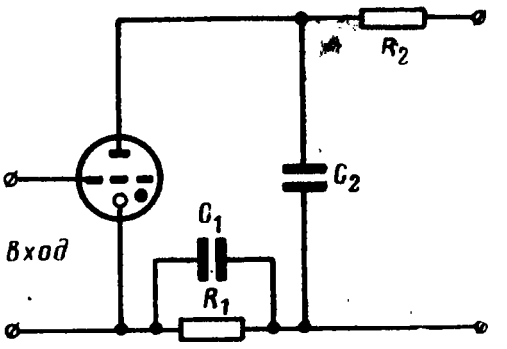


Рис. 133. Схема нормализатора импульсов на тиратроне с одним устойчивым состоянием

Конденсатор C_1 вместе с резистором R_1 образует интегрирующую цепочку. Среднее напряжение на конденсаторе C_1 и средний ток разряда $I_{p_{ср}}$ связаны с частотой поступления импульсов зависимостью (173) при условии, что каждым импульсом конденсатору C_1 интегрирующей цепочки сообщается одинаковый заряд. (Для конденсатора C_1 источником зарядов является конденсатор C_2.)

В процессе заряда конденсатора C_2 на нем устанавливается максимальное напряжение, равное напряжению источника питания U_a. В процессе разряда напряжение на конденсаторе C_2 уменьшается до одного и того же минимального значения $U_{C_{2\,мин}}$. Соответственно этому на конденсаторе C_2 происходит всегда одно и то же изменение заряда, который передается на конденсатор C_1. На конденсатор C_1 приходит всегда одинаковый заряд $q = \dfrac{U_a - U_{C_{2\,мин}}}{C_2}$, независимо от переносимого запускающим импульсом заряда. Этому соответствуют импульсы одинаковой формы, величины и длительности.

На рис. 134 показаны графики, иллюстрирующие изменение напряжений и токов во времени в соответствии с физическими процессами, происходящими в различных участках схемы.

§ 8. Схема мультивибратора с катодной обратной связью

Схема мультивибратора с катодной обратной связью представляет собой двухкаскадный усилитель на сопротивлениях, у которого второй каскад соединяется с входом первого, а первый — с входом второго через общее сопротивление в цепях катодов ламп.

Одна из схем мультивибратора с катодной обратной связью изображена на рис. 135. Эта схема имеет одно устойчивое состояние.

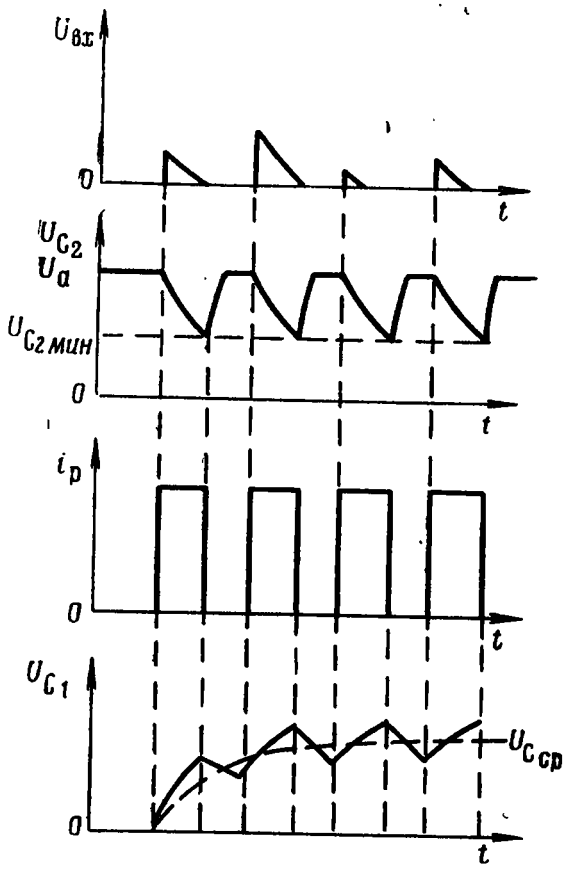


Рис. 134. Графики изменения напряжений и тока в схеме нормализатора импульсов на тиратроне

В устойчивом состоянии лампа $Л_1$ открыта, так как ток, проходя от источника питания через сопротивления R_5 и R_6, создает на каждом из них падение напряжения. Падение напряжения с сопротивления R_6 положительной полярностью подается на сетку, а отрицательной полярностью через сопротивление R_3 — на катод лампы. При этом от положительного полюса источника питания через сопротивление R_1, через промежуток анод — катод лампы и через сопротивление R_3 к отрицательному полюсу источника питания проходит анодный ток I_{a_2}, который на сопротивлении R_1 создает падение напряжения $I_{a_1} R_1$. Напряжение на аноде лампы $Л_1$ и подключенном к нему конденсаторе C будет меньше напряжения источника питания E_a.

На сопротивлении R_3 анодным током лампы $Л_1$ также создается падение напряжения, которое оказывается подключенным к участку сетка — катод второй лампы так, что положительный потенциал подается на катод, а отрицательный через сопротивление R_4 — на сетку второй лампы. Сопротивление R_3 является общим элементом в цепях катодов обеих ламп, через него осуществляется связь между

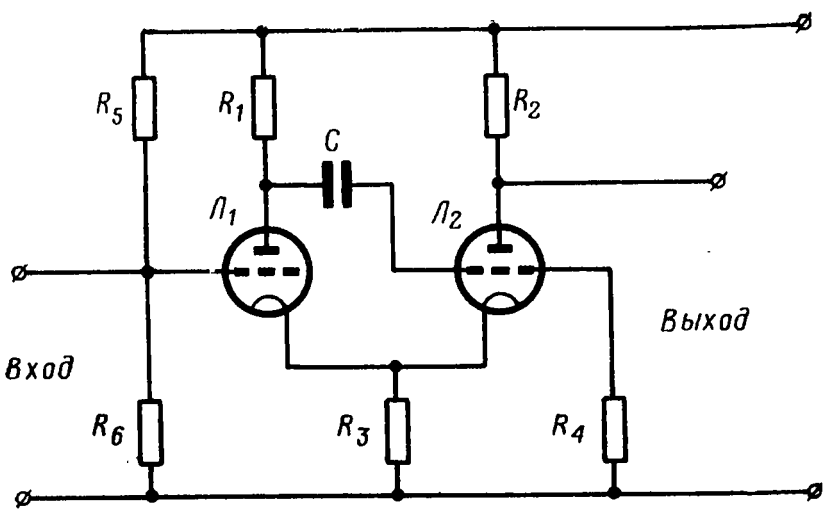


Рис. 135. Схема мультивибратора с одним устойчивым состоянием

каскадами. Создаваемое на сопротивлении R_3 напряжение достаточно для запирания лампы $Л_2$. При этом анодный ток лампы $Л_2$ равен нулю, падение напряжения на сопротивлении R_2 также равно нулю и напряжение на аноде лампы $Л_2$ равно напряжению источника питания E_a.

При поступлении на вход схемы импульса отрицательной полярности происходит запирание лампы $Л_1$. Протекание анодного тока прекращается, падение напряжения на сопротивлении R_1 становится равным нулю. Напряжение на аноде лампы $Л_1$ от первоначальной величины возрастает до величины напряжения источника питания E_a. Конденсатор C заряжается до величины E_a. Ток заряда конденсатора C протекает по цепи: положительный полюс источника питания, резистор R_1, конденсатор C, резистор R_4, отрицательный полюс источника питания. На резисторе R_4 образуется падение напряжения, которое положительной полярностью подается на сетку, а отрицательной — через резистор R_3 на катод лампы $Л_2$. Лампа $Л_2$ открывается.

Анодный ток лампы $Л_2$ протекает от положительного полюса источника питания через резистор R_2, промежуток анод — катод лампы, резистор R_3 к отрицательному полюсу источника питания. На резисторе R_2 создается падение напряжения $I_{a_2}R_2$, что приводит к уменьшению напряжения на аноде лампы до величины $U_{a_{2\,мин}} = E_a - I_{a_2}R_2$. На резисторе R_3 анодный ток I_{a_2} лампы $Л_2$ также образует падение напряжения, которое отрицательной полярностью подается на сетку лампы $Л_1$ и поддерживает ее в запертом состоянии даже в случае, когда действие входного запускающего отрицательного импульса прекратилось.

В таком состоянии схема будет находиться до тех пор, пока продолжается заряд конденсатора C. По мере заряда конденсатора ток заряда уменьшается и уменьшается образуемое на резисторе R_4 падение напряжения. Это приводит к уменьшению анодного тока лампы $Л_2$. Величина создаваемого этим током падения напряжения на катодном резисторе уменьшается.

Отрицательное напряжение, прикладываемое к управляющей сетке лампы $Л_1$, становится недостаточным для удержания ее в запертом состоянии. Эта лампа открывается. Через нее протекает анодный ток, создавая на резисторе R_3 падение напряжения, приложенное минусом к управляющей сетке лампы $Л_2$. Конденсатор C разряжается через лампу $Л_1$ и резисторы R_3 и R_4, создавая на резисторе R_4 падение напряжения, которое отрицательной полярностью также подается на сетку лампы $Л_2$. Лампа $Л_2$ запирается и схема приходит в исходное состояние.

На выходе схемы возникают импульсы напряжения, одинаковые по величине, длительности и форме. Величина импульсов $U_и = E_a - U_{a_{2\,мин}}$ определяется характеристиками и режимом работы лампы $Л_2$. Длительность импульсов соответствует времени нахождения лампы $Л_2$ в открытом состоянии и определяется временем за-

ряда конденсатора C, которое в свою очередь зависит от постоянной времени цепи заряда $\tau_3 = (R_1 + R_4)C$. Поскольку величины R_1, R_4 и C не меняются, то формируемые схемой импульсы имеют одинаковую длительность независимо от длительности входных импульсов.

Процесс образования отрицательных и положительных напряжений на сетках ламп происходит лавинообразно, что приводит к скачкообразному переходу лампы из запертого состояния в открытое и обратно, и практически к мгновенному нарастанию и спаду выходного импульса. Этим объясняется прямоугольная форма импульса, также не зависящая от формы входных импульсов.

§ 9. Блокинг-генератор

Блокинг-генератор, или блокирующийся генератор, представляет собой релаксационный генератор, преобразующий постоянное напряжение в импульсы прямоугольной формы. Схема блокинг-генератора показана на рис. 136.

В блокинг-генераторе осуществляется очень сильная обратная связь между цепями коллектора и эмиттера, для чего используется трансформатор с железным сердечником.

В момент подачи напряжения в схему блокинг-генератора начинается заряд конденсатора C, включенного через обмотку L_1 трансформатора Tp параллельно участку эмиттер — база. Одновременно возникает ток в цепи эмиттер — база. Появление этого тока сопровождается появлением тока и в цепи коллектора. Так как в цепь коллектора включена обмотка L_2 трансформатора, обладающая некоторой индуктивностью, то ток в этой цепи устанавливается не сразу, а постепенно нарастает. Изменяющийся по времени возрастающий коллекторный ток, протекая через витки обмотки L_2, создает вокруг нее возрастающий магнитный поток, который, пересекая витки обмотки L_2, вызывает в ней электродвижущую силу самоиндукции E_2, направленную так, что она препятствует быстрому росту коллекторного тока, т. е. навстречу напряжению источника питания. Одновременно возникающий в обмотке L_2 магнитный поток пересекает витки обмотки L_1 и вызывает появление в обмотке электродвижущей силы взаимоиндукции E_1.

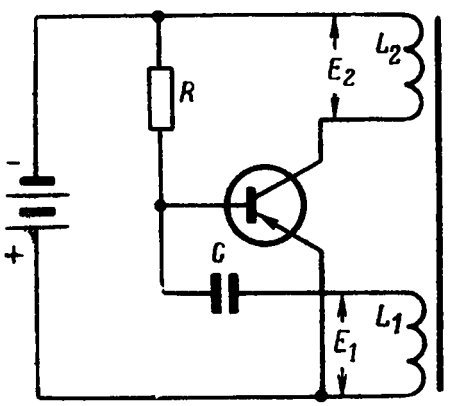


Рис. 136. Схема блокинг-генератора

Величина электродвижущей силы самоиндукции E_2 близка к электродвижущей силе источника питания. Можно считать, что при прохождении коллекторного тока сопротивление участка эмиттер — коллектор мало, вследствие чего падение напряжения на нем небольшое и почти все напряжение источника питания $U_{ист}$ прикладывается к обмотке L_2: $E_2 \approx U_{ист}$. Величина электродвижущей силы

взаимоиндукции E_1 в обмотке L_1 пропорциональна величине электродвижущей силы E_2 в обмотке L_2 и отношению числа витков n_1 в обмотке L_1 к числу витков n_2 в обмотке L_2:

$$E_1 \approx E_2 \frac{n_1}{n_2}. \qquad (174)$$

Обмотка L_1 включается в схему таким образом, что возникающая в ней при возрастании коллекторного тока электродвижущая сила E_1 положительным потенциалом подается на эмиттер, а отрицательным через конденсатор C — на базу. Благодаря этому напряжение на участке эмиттер — база растет, чем обеспечивается увеличение тока в цепи эмиттер — база. При этом продолжается рост коллекторного тока, который начиная с некоторой величины возрастает с постоянной скоростью, зависящей от напряжения источника питания $U_{ист}$ и индуктивности обмотки L_2. Постоянной скорости изменения коллекторного тока соответствует и постоянство величин E_1 и E_2.

Коллекторный ток растет лишь до некоторого предела, определяемого параметрами триода и током в цепи эмиттер — база. В свою очередь ток в цепи эмиттер — база зависит от напряжения источника питания и сопротивления R, включенного в эту цепь. Следовательно, напряжение источника питания и величина сопротивления R определяют в каждом случае максимальное значение коллекторного тока. По мере приближения величины коллекторного тока к этому пределу скорость его нарастания уменьшается. При этом уменьшается и электродвижущая сила взаимоиндукции E_1 в обмотке L_1, отрицательное напряжение на базе становится меньше, ток в цепи эмиттер — база уменьшается. Вслед за этим уменьшается, а затем прекращается рост коллекторного тока. В момент когда ток приобретает некоторое постоянное значение, магнитный поток, создаваемый им, также является постоянным. Это приводит к тому, что в обмотках L_1 и L_2 вызываемые этим потоком электродвижущие силы E_1 и E_2 становятся равными нулю.

Уменьшение E_1 до нуля приводит к еще большему уменьшению тока в цепи эмиттер — база, что вызывает уменьшение тока и в цепи эмиттер — коллектор. Уменьшение коллекторного тока сопровождается уменьшением магнитного потока, пересекающего витки обмоток L_1 и L_2. В этом случае в обмотках L_1 и L_2 вновь будут возникать электродвижущие силы взаимоиндукции E_1 и самоиндукции E_2, но обратной полярности по сравнению с той, которая создавалась возрастающим магнитным потоком. Это означает, что с обмотки L_1 на эмиттер подается отрицательный потенциал, а на базу — положительный. При таком порядке подачи напряжения на триод он запирается и токи в цепях эмиттер — база и эмиттер — коллектор практически мгновенно прекращаются. Резкий спад коллекторного тока до нуля сопровождается возникновением в обмотке L_2 импульса электродвижущей силы E_2, стремящейся препятствовать уменьшению этого тока. Величина этого импульса пропорциональна вре-

мени прохождения коллекторного тока через обмотку L_2 и скорости спада коллекторного тока, она может в 30—40 раз превышать напряжение источников питания.

В момент резкого прекращения коллекторного тока появляется импульс электродвижущей силы взаимоиндукции E_1 и в обмотке L_1. Этот импульс через конденсатор C подается на базу положительной полярностью и поддерживает триод в запертом состоянии.

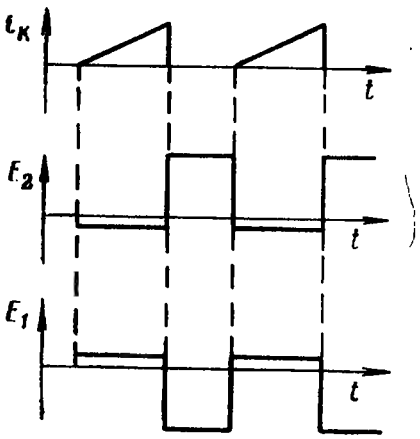


Рис. 137. Графики тока и электродвижущих сил в схеме блокинг-генератора

Таким образом, схема возвращается к состоянию, при котором токи в цепях эмиттер — база и эмиттер — коллектор отсутствуют. Так как при этом напряжение источника питания остается подключенным к триоду, то происходящие в схеме процессы повторяются. В результате на обмотке L_2 возникает последовательность положительных и отрицательных импульсов напряжения.

Процессы, происходящие в цепях блокинг-генератора, иллюстрируются графиками, показанными на рис. 137.

§ 10. Электрический фильтр

Электрический фильтр служит для преобразования импульсного или пульсирующего напряжения в постоянное. В простейшем случае таким фильтром является конденсатор.

Импульсный или пульсирующий ток состоит из некоторой постоянной и большого числа переменных составляющих.

Емкостное сопротивление конденсатора

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}, \qquad (175)$$

где f — частота тока;

C — емкость конденсатора.

Для подавляющего числа переменных составляющих, характеризующихся некоторой частотой f, это сопротивление небольшое и падение напряжения, вызываемое этими составляющими на конденсаторе, незначительно. Переменные составляющие в основном создают падение напряжения на других элементах цепи прохождения импульсного или пульсирующего тока. Для постоянной составляющей конденсатор представляет собой очень большое сопротивление, значительно большее, чем сопротивление других элементов цепи. Поэтому постоянная составляющая целиком выделяется на конденсаторе.

Практически работа конденсатора-фильтра сводится к тому, что приходящий на него импульс быстро заряжает конденсатор, а во время паузы конденсатор медленно разряжается через нагрузку.

На таком фильтре сохраняются еще некоторые пульсации, образующиеся в процессе заряда — разряда конденсатора.

Значительно лучший эффект достигается при использовании П-образного фильтра (рис. 138). Здесь параллельно фильтрующему конденсатору C_1 подключаются резистор R и конденсатор C_2. Для переменных составляющих пульсирующего напряжения, образовавшегося на конденсаторе C_1, резистор R представляет большое сопротивление, а конденсатор C_2 — малое, поэтому они основную долю падения напряжения образуют на резисторе. В то же время для постоянной составляющей резистор представляет значительно меньшее сопротивление, чем конденсатор C_2, на котором и будет выделяться основная доля постоянной составляющей. Благодаря этому на выходе фильтра — конденсаторе C_2 образуется постоянное напряжение, пульсации которого практически отсутствуют или значительно меньше пульсаций на конденсаторе C_1. Это выходное постоянное напряжение с конденсатора C_2 подается на нагрузочное сопротивление $R_н$, в качестве которого могут быть использованы ионизационные камеры, газоразрядные счетчики, цепи электронных ламп и полупроводников и др.

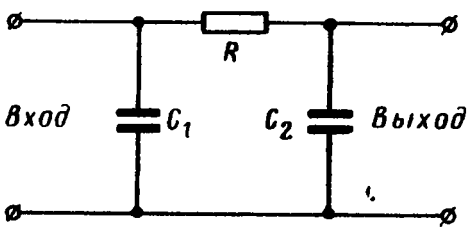


Рис. 138. Схема П-образного фильтра

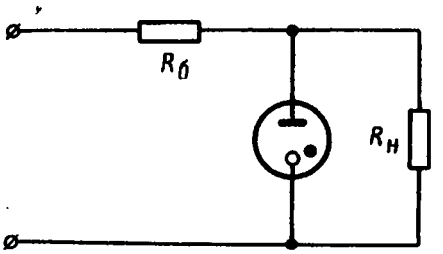


Рис. 139. Схема стабилизатора напряжения

§ 11. Стабилизатор напряжения

Стабилизатор напряжения служит для поддержания напряжения постоянным на потребителе при изменении в некоторых пределах или пульсации питающего напряжения. Поддержание питающих напряжений строго постоянными является условием, обеспечивающим точность измерений.

В схемах стабилизаторов напряжения применяются газонаполненные лампы — стабилитроны, вольтамперная характеристика которых имеет участок, отличающийся тем, что небольшим изменениям напряжения на электродах стабилитрона соответствуют резкие изменения силы проходящего через него тока. Рост тока через стабилитрон обусловлен не только увеличением напряжения на нем, но и сопутствующим ему уменьшением сопротивления. Питающее напряжение подается на стабилитрон через последовательно включенное балластное сопротивление $R_б$.

Параллельно стабилитрону подключается нагрузочное сопротивление, напряжение на котором должно быть постоянным (рис. 139).

Если номинальному напряжению на нагрузке отвечает напряжение источника питания $U_{ист}$, то увеличение этого напряжения приведет к росту как падения напряжения на балластном сопротивлении $R_б$, так и на стабилитроне. Увеличение напряжения на стабилитроне вызовет возрастание тока, проходящего через него, и уменьшение его сопротивления. Вследствие уменьшения сопротивления стабилитрона ток, протекающий через него, возрастает в большей степени, чем изменяется питающее напряжение. Это приводит к тому, что на балластном сопротивлении происходит дополнительное падение напряжения, а падение напряжения на стабилитроне уменьшается.

Можно подобрать такую величину балластного сопротивления, чтобы увеличение падения напряжения на нем равнялось увеличению питающего напряжения. Тогда увеличение тока через стабилитрон не приведет к изменению напряжения на нем, так как вследствие соответствующего уменьшения сопротивления стабилитрона падение напряжения на нем и на параллельно подключенной нагрузке остается неизменным. При уменьшении питающего напряжения соответственно уменьшается падение напряжения на балластном сопротивлении, а выходное напряжение не меняется.

§ 12. Преобразователь напряжения

Преобразователь напряжения предназначен для преобразования постоянного напряжения малой величины в постоянное напряжение большой величины.

Преобразователи напряжения широко используются в схемах всех дозиметрических приборов. Они обладают высоким коэффициентом полезного действия, малыми весом и габаритами, большим сроком службы, надежностью в работе.

Преобразователь напряжения (рис. 140) включает: релаксационный блокинг-генератор, преобразующий постоянное напряжение источников питания в импульсное в коллекторной обмотке трансформатора блокинг-генератора; выпрямитель, пропускающий в последующую часть схемы импульсы одной полярности; фильтр,

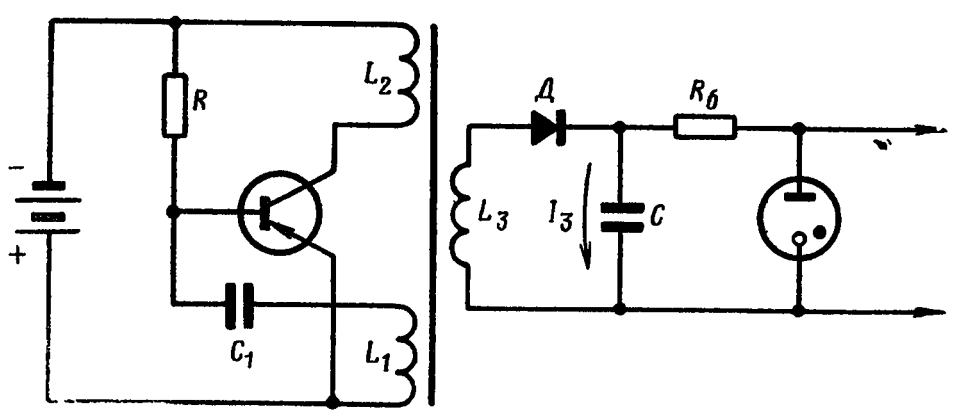


Рис. 140. Схема преобразователя напряжения

сглаживающий эти импульсы и преобразующий импульсное напряжение в постоянное. Он может также включать и стабилизатор, обеспечивающий постоянство напряжения на выходе преобразователя. Преобразователь питается от низковольтных источников (напряжением порядка 1,6—3,2 *в*).

Включение источников питания в схему преобразователя напряжения вызывает работу блокинг-генератора. В обмотке L_2 трансформатора блокинг-генератора возникает последовательность импульсов переменной полярности, величина которых зависит от напряжения источников питания. При этом импульс, возникающий в момент резкого спада коллекторного тока, значительно больше импульса, возникающего при более медленном процессе его нарастания, и может достичь нескольких десятков и сот вольт.

Трансформатор блокинг-генератора имеет третью, повышающую обмотку с большим числом витков. При нарастании и спаде протекающего через обмотку L_2 коллекторного тока, в повышающей обмотке трансформатора L_3 индуктируется электродвижущая сила E_3, величина которой больше электродвижущей силы E_2 во столько раз, во сколько обмотка L_3 содержит больше витков, чем обмотка L_2:

$$E_3 = E_2 \frac{n_3}{n_2}.$$

Таким образом, в обмотке L_3 образуются импульсы электродвижущей силы в несколько сот и тысяч вольт.

К концам обмотки L_3 подключаются последовательно выпрямитель $Д$ и конденсатор C. Выпрямитель включается так, чтобы импульсы большой величины, возникающие в повышающей обмотке трансформатора в момент прекращения коллекторного тока, проходили через него и заряжали конденсатор. Во время паузы конденсатор успевает несколько разрядиться на нагрузку, и каждый последующий импульс восстанавливает на нем заряд, причем величина тока заряда определяется разностью между величиной заряжающего импульса и величиной заряда конденсатора. Процессы заряда и разряда конденсатора приводят к тому, что напряжение

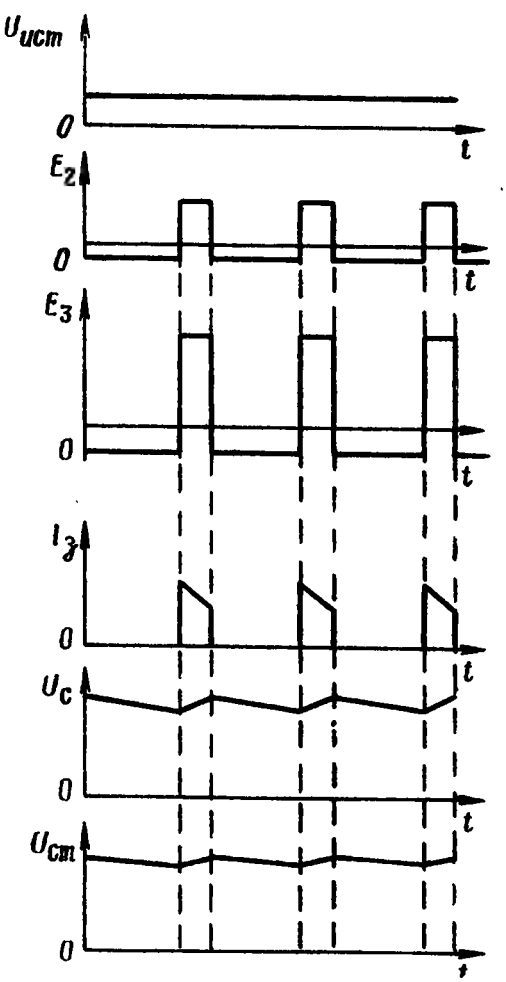


Рис. 141. Графики изменения напряжений и тока в схеме преобразователя напряжения

пульсирует вокруг некоторого среднего значения. Для сглаживания этих пульсаций параллельно фильтру подключается стабилизатор напряжения. Все изменения подводимого к стабилизатору напряжения, вызванные его пульсациями, равно как и разрядом источников питания, будут приводить лишь к изменению тока, протекающего через стабилитрон, и соответствующему изменению падения напряжения на сопротивлении R_6. Напряжение на стабилитроне, подаваемое на нагрузку, остается постоянным (рис. 141).

Преобразователи напряжения, применяемые в полевой дозиметрической аппаратуре, создают на выходе постоянное напряжение порядка 200—400 *в*, причем в ряде случаев позволяют получить при использовании одного источника питания несколько различных напряжений.

§ 13. Двухтактный преобразователь напряжения

Двухтактный преобразователь напряжения (рис. 142) позволяет получить на выходе высокое напряжение достаточно большой мощности с малыми пульсациями.

На резисторе R_1 делителя напряжения, образованного резисторами R_1 и R_2, создается падение напряжения, приложенное отрицательным полюсом к базам транзисторов (триодов) через обмотки

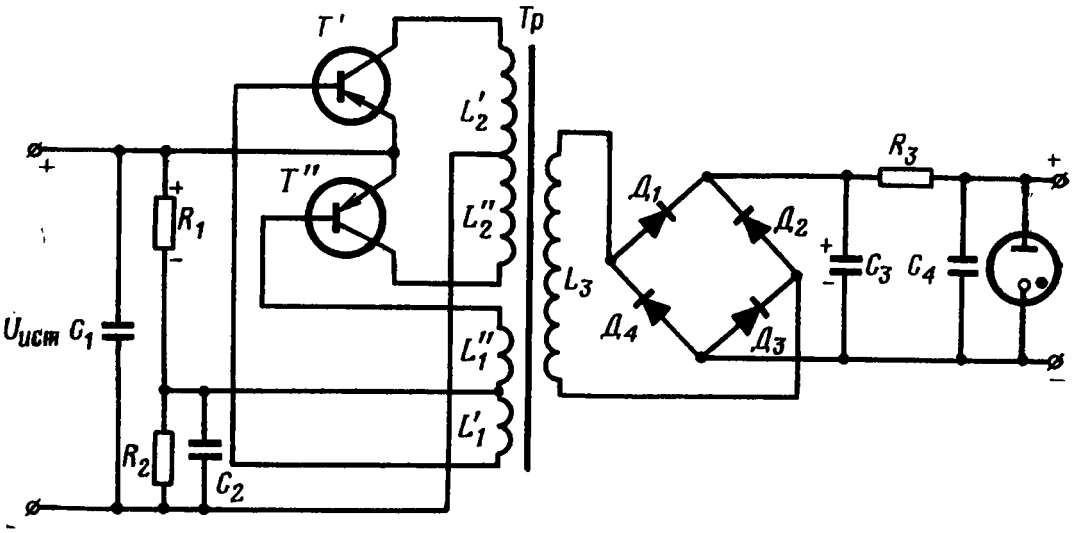


Рис. 142. Схема двухтактного преобразователя напряжения

L_1' и L_1'' трансформатора. Вследствие разброса параметров триодов и асимметрии секций обмоток один триод, например T', откроется раньше другого. Тогда напряжение питания $U_{ист}$ (за вычетом небольшого падения напряжения на участке эмиттер — коллектор) окажется приложенным к обмотке L_2'. По цепи плюс источника питания, эмиттер — коллектор триода T', обмотка L_2', минус источника питания потечет коллекторный ток, мгновенному нарастанию которого препятствует созданная в индуктивности L_2' э. д. с. самоиндукции. Увеличение коллекторного тока вызовет появление

увеличивающегося магнитного потока, что приведет к возникновению на концах обмотки L_1' э. д. с. взаимоиндукции E_1', плюс которой приложен через резистор R_1 к эмиттеру, а минус — к базе триода T' и, как следствие этого, приведет к росту коллекторного тока триода T'.

Электродвижущая сила E_1'', наведенная в обмотке L_1'', прикладывается плюсом к базе и минусом через резистор R_1 к эмиттеру триода T'', в результате чего триод запирается и коллекторный ток в цепи триода T'' равен нулю.

Следовательно, в то время когда триод T' открыт, триод T'' заперт. Величины э. д. с., возникающие в обмотках L_2' и L_2'', равны напряжению источника питания $U_{ист}$ за вычетом небольшого падения напряжения на открытом триоде и на активном сопротивлении обмотки.

Триод T' будет открыт до тех пор, пока магнитный поток в сердечнике трансформатора не достигнет величины насыщения. Так как в этот момент скорость изменения магнитного потока равна нулю, то э. д. с. во всех обмотках трансформатора также станет равной нулю. Резкое уменьшение токов в обмотках, происходящее при этом, вызывает появление в обмотках э. д. с. противоположной полярности и возникающая в обмотке L_1'' э. д. с. подается на базу триода T'' отрицательной полярностью по отношению к эмиттеру. Это приводит к отпиранию триода T'' и нарастанию тока в коллекторной обмотке L_2''. Электродвижущая сила в обмотке L_1'' соответственно возрастает, что вызывает дальнейшее увеличение коллекторного тока и т. д. В то же время образованная на концах обмотки L_1' электродвижущая сила E_1' прикладывается плюсом к базе и минусом к эмиттеру триода T'. Триод T' запирается и удерживается в запертом состоянии в течение времени открытого состояния триода T''.

Все описанные выше процессы повторяются, но определяются теперь изменением магнитного потока, вызванного изменением коллекторного тока триода T''.

Таким образом, триоды T' и T'' попеременно открываются и закрываются. Напряжение на каждой половине коллекторной обмотки имеет прямоугольную форму. В повышающей обмотке трансформатора переменный магнитный поток создает импульсы э. д. с. прямоугольной формы обеих полярностей, амплитуда которых превосходит напряжение источников питания. Величина этой э. д. с. зависит от соотношения числа витков коллекторной и повышающей обмоток, а также от напряжения, питающего транзисторы, и определяется по формуле

$$E_3 \approx U_{ист} \frac{n_3}{n_2},$$

где E_3 — амплитуда э. д. с. на концах обмотки L_3;
$U_{ист}$ — напряжение источников питания;

n_3 — число витков обмотки L_3;
n_2 — число витков обмотки L_2' (L_2'').

Для преобразования импульсов, индуктированных в повышающей обмотке трансформатора L_3 в постоянное напряжение, используются двухполупериодный выпрямитель и сглаживающий фильтр. Положительные импульсы э. д. с., индуктированные на концах обмотки L_3, вызывают ток по цепи: плюс (верхняя по схеме точка обмотки L_3), диод $Д_1$, конденсатор C_3, диод $Д_3$, минус, заряжая конденсатор C_3 до напряжения $U=E_3$. Импульсы отрицательной полярности E_3 вызывают ток по цепи: плюс (нижняя по схеме точка обмотки L_3), диод $Д_2$, конденсатор C_3, диод $Д_4$, минус, заряжая конденсатор C_3.

Созданные положительными и отрицательными импульсами зарядные токи через конденсатор C_3 проходят в одном направлении. Использование для заряда конденсатора C_3 как положительного, так и отрицательного импульсов позволяет получить от преобразователя большую мощность и меньшую пульсацию. Уменьшению пульсации способствует также включение на выходе преобразователя сглаживающего фильтра.

Раздел четвертый

ВОЙСКОВЫЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Глава I

НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ВОЙСКОВЫХ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

§ 1. Задачи войсковой дозиметрии

Войсковая дозиметрия решает следующие задачи:

— своевременное обнаружение радиоактивного заражения с целью оповещения войск;

— измерение уровней радиации на маршрутах движения войск или в заданных районах с целью определения времени безопасного пребывания войск в зараженном районе, границ и путей обхода зараженного района;

— измерение степени зараженности различных поверхностей в боевых порядках войск с целью определения необходимости и полноты проведения дезактивации и санитарной обработки, а также определения норм потребления зараженных продуктов питания;

— измерение доз излучения с целью определения боеспособности подразделений и частей в радиационном отношении;

— лабораторное измерение степени зараженности радиоактивными веществами продуктов питания, воды, фуража с целью установления режимов их потребления.

§ 2. Классификация войсковых дозиметрических приборов

В зависимости от выполняемой задачи приборы подразделяются:

— на **индикаторы радиоактивности**, служащие для обнаружения радиоактивного заражения местности и ориентировочного измерения уровня радиации (ДП-63-А, ДП-63, ДП-64);

— на **рентгенметры**, с помощью которых измеряется уровень радиации (ДП-2, ДП-3, ДП-3-Б);

— на **радиометр-рентгенметры** — широкодиапазонные комбинированные приборы (ДП-5-А, ДП-5);

— на **радиометры**, предназначенные для измерения степени зараженности поверхностей (ДП-12);

— на **дозиметры**, позволяющие измерить дозу излучения, воздействующую на личный состав (ДП-23-А, ДП-22-В, ДК-0,2, ДП-70, ДП-70М);

— на **счетные установки**, предназначенные для измерения количества электрических импульсов при определении степени зараженности радиоактивными веществами воды, продовольствия, вооружения и боевой техники (ДП-100, ДП-100-М).

Глава II

ИНДИКАТОР РАДИОАКТИВНОСТИ ДП-63-А

§ 1. Назначение и технические данные прибора

Индикатор радиоактивности ДП-63-А предназначен для обнаружения зараженности местности бета-гамма- и бета-активными веществами и оценки уровней гамма-радиации.

Диапазон измерений прибора — от 0,1 до 50 *р/ч*. Для увеличения точности измерений диапазон разбит на два поддиапазона: первый — от 0,1 до 1,5 *р/ч* (кнопка «1,5 *р/ч*»), второй — от 1,5 до 50 *р/ч* (кнопка «50 *р/ч*»). Приведенная погрешность измерений не превышает ±30%.

Прибор работоспособен в интервале температур от —40° до +50° С и при относительной влажности до 98%. Продолжительность его работы без смены источников питания (два элемента 1,6-ПМЦ-У-1,05) 50 *ч*.

Вес прибора 750 *г*; вес комплекта 1,2 *кг*.

Время подготовки прибора к действию 1—2 *мин*.

§ 2. Общее устройство прибора

Комплект прибора включает индикатор радиоактивности ДП-63-А (рис. 143), футляр с ремнем, отвертку, описание и инструкцию, технический формуляр.

Корпус индикатора и передняя панель изготовлены из прессматериала — волокнита. На передней панели расположены: электроизмерительный прибор с механическим корректором нуля, находящимся в гнезде, закрытом пробкой; две кнопки: «1,5 *р/ч*» — для включения первого поддиапазона и «50 *р/ч*» — для включения второго поддиапазона; отсек питания с крышкой. Для доступа в прибор бета-излучений в дне корпуса имеется прямоугольное окно, заклеенное фольгой; окно закрывается шторкой, отодвигаемой с помощью кнопки на боковой стенке корпуса индикатора. Сбоку кор-

пуса (или на передней панели) выгравировано положение источников питания, которое они должны занять в отсеке питания. Конструкция отсека питания и его крышки предотвращают неправильную установку элементов.

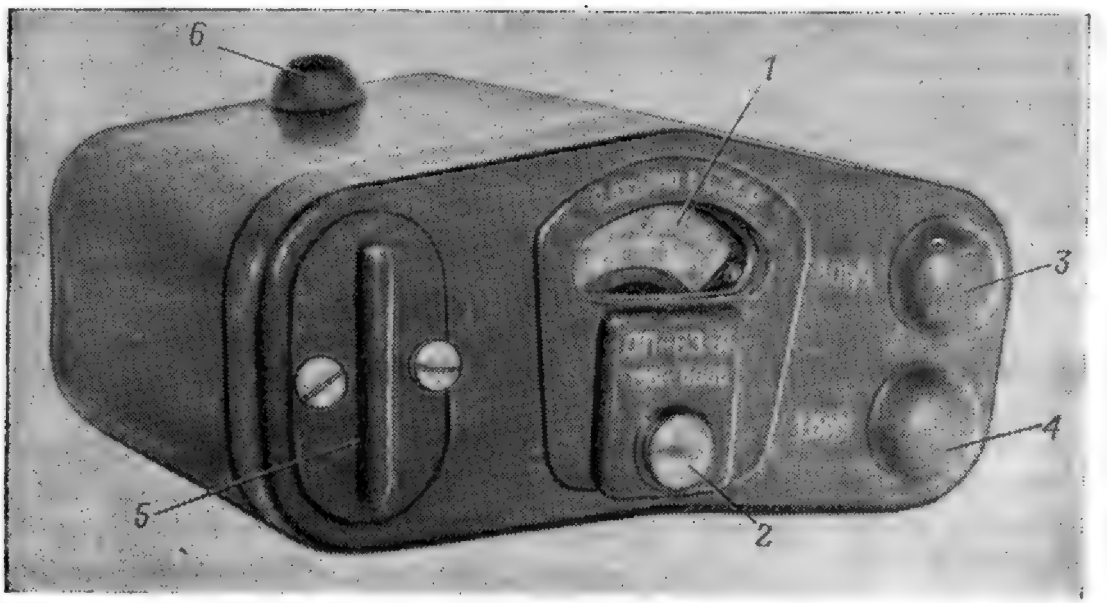


Рис. 143. Индикатор радиоактивности ДП-63-А:

1 — электроизмерительный прибор; *2* — гнездо механического корректора нуля, закрытое пробкой; *3* и *4* — кнопки включения поддиапазонов; *5* — отсек питания с крышкой; *6* — кнопка привода стальной шторки

§ 3. Подготовка прибора к действию

Подготовка индикатора к действию слагается из внешнего осмотра комплекта и проверки электрического режима и работоспособности индикатора.

При внешнем осмотре проверяются комплектность прибора, механическая исправность органов управления и микроамперметра, целостность фольги в нижнем отсеке. При выключенном приборе стрелка микроамперметра должна находиться на нуле нижней шкалы; если это не так, следует отвинтить пробку гнезда механического корректора и, вращая его отверткой, установить стрелку на нуль. Проверяется также наличие и правильность ведения технической документации («Технический формуляр», «Лист учета часов работы»).

Затем контролируется напряжение источников питания. Для этого достаточно одновременно нажать кнопки «1,5 *р/ч*» и «50 *р/ч*». Стрелка микроамперметра должна отклониться правее деления 5 на нижней шкале; если стрелка не доходит до цифры 5, необходимо заменить питание. Для этого следует вывинтить два невыпадающих винта, крепящих крышку отсека питания, снять крышку и извлечь использованные источники; у свежих элементов зачистить контакты с обеих сторон и элементы поместить в отсек питания.

Со свежими источниками питания стрелка прибора должна отклониться до конца шкалы.

В приборах, прошедших модернизацию в 1965 г., замена источников питания производится, если стрелка микроамперметра находится левее деления 10. При свежих элементах стрелка должна отклониться не менее, чем на $^2/_3$ шкалы.

После проверки годности источников питания контролируется работоспособность индикатора на первом поддиапазоне. При нажатии кнопки «1,5 *р/ч*» стрелка измерительного прибора должна отклониться вправо и установиться на нуле верхней шкалы или в пределах зачерненного сектора.

§ 4. Работа с прибором

В походном положении прибор переносится в футляре. При измерениях уровней гамма-радиации индикатор располагается на высоте 0,7—1,0 *м* от поверхности земли.

Малые уровни гамма-радиации измеряются на первом поддиапазоне, уровни радиации выше 1,5 *р/ч* — на втором поддиапазоне; при этом нажимаются соответственно кнопки «1,5 *р/ч*» или «50 *р/ч*».

Для индикации бета-излучения необходимо расположить прибор в 20—30 *см* от земли и сделать два замера: при первом — нажать на кнопку «1,5 *р/ч*», при втором — одновременно нажать на кнопку «1,5 *р/ч*» и кнопку шторки. Увеличение показаний при втором измерении свидетельствует о нахождении оператора непосредственно на зараженном участке.

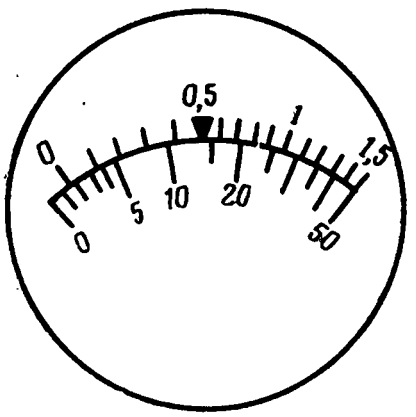


Рис. 144. Шкала электроизмерительного прибора

Шкала измерительного прибора индикатора двухрядная (рис. 144). Верхний ряд проградуирован от 0 до 1,5 *р/ч* с ценой деления 0,1 *р/ч*, нижний — от 0 до 50 *р/ч* с ценой деления от 0 до 5 *р/ч* — 1 *р/ч*, от 5 до 40 *р/ч* — 5 *р/ч* и от 40 до 50 *р/ч* — 10 *р/ч*. Отсчетные нули шкал не совпадают, нуль верхней шкалы несколько сдвинут вправо: расстояние между нулями — нормальное отклонение стрелки прибора от контрольного стронциевого препарата, расположенного под чувствительным счетчиком.

Для работы в темноте прозрачная шкала измерительного прибора подсвечивается при помощи пластинки со светящимся составом постоянного действия, прикрепленной под шкалой микроамперметра.

Примечание. Точность отсчета на дозиметрических приборах определяется ценой деления шкалы, дробить деление нельзя. Если стрелка находится между делениями, рекомендуется брать бо́льший отсчет.

§ 5. Принципиальная схема прибора

Схема индикатора радиоактивности ДП-63-А (рис. 145) включает:

— преобразователь напряжения (транзистор *6*, трансформатор *7*, селеновый выпрямитель *8*, стабилитрон *11*, резисторы *4*, *10* и *12*, конденсаторы *5* и *9*), питаемый от двух последовательно соединенных элементов 1,6-ПМЦ-У-1,05 *3* напряжением 3,2 *в*; с выхода преобразователя (точки *а* и *б*) снимается стабилизированное постоянное напряжение 390 *в* для питания газоразрядных счетчиков;

— газоразрядные счетчики СИ-10БГ *16* и СИ-11БГ *15*;

— интегрирующий контур *RC* (конденсатор *18*, резистор *19* и микроамперметр *20*);

— систему коммутации: кнопки с двумя парами нормально замкнутых (II и IV) и нормально разомкнутых (I и III) контактов.

Проверка годности источников питания производится при нажатых кнопках *1* и *2*. При этом контактные пары I и III замыкаются, контактные пары II и IV размыкаются, включается питание преобразователя, отключаются газоразрядные счетчики *15* и *16*, а также шунтирующие микроамперметр резисторы *21* и *22*. Ток разряда конденсатора *9* протекает от положительно заряженной пластины через резистор *10*, стабилитрон *11*, затем по двум параллельным ветвям: резистор *12* и через замкнутые пары контактов III, микроамперметр *20* к отрицательно заряженной пластине. По показаниям микроамперметра судят о необходимости замены питания.

Для контроля работоспособности индикатора нажимается кнопка *1*. В этом случае работает преобразователь. Выходное стабилизированное напряжение снимается со стабилитрона *11* и резистора *12* и прикладывается плюсом — через резистор *14* к аноду счетчика *16*, минусом — через микроамперметр и резистор *19* к катоду счетчика *16*. Под счетчиком *16* расположен радиоактивный препарат *17*. При воздействии ионизирующих излучений от препарата в цепи счетчика возникает импульсный ионизационный ток, протекающий по пути: точка *а*, резистор *14*, счетчик *16*, контакты II кнопки *2*, конденсатор *18* интегрирующего контура, точка *б*. Конденсатор *18* заряжается. Разряд конденсатора *18* происходит через резистор *19*, микроамперметр и шунтирующий резистор *21*. В исправном приборе стрелка микроамперметра устанавливается на нуль верхней шкалы. Ток разряда конденсатора пропорционален уровню радиации, поэтому шкала микроамперметра отградуирована в рентгенах в час.

С помощью резистора *21* производится регулировка показаний индикатора во время градуировки прибора на первом поддиапазоне.

Работа схемы при воздействии внешнего гамма-излучения не имеет отличий от описанного процесса.

Аналогично индикатор работает при нажатой кнопке *2*. В этом случае задействованы счетчик *15* и резистор *13*, а регулировка показаний прибора осуществляется резистором *22*.

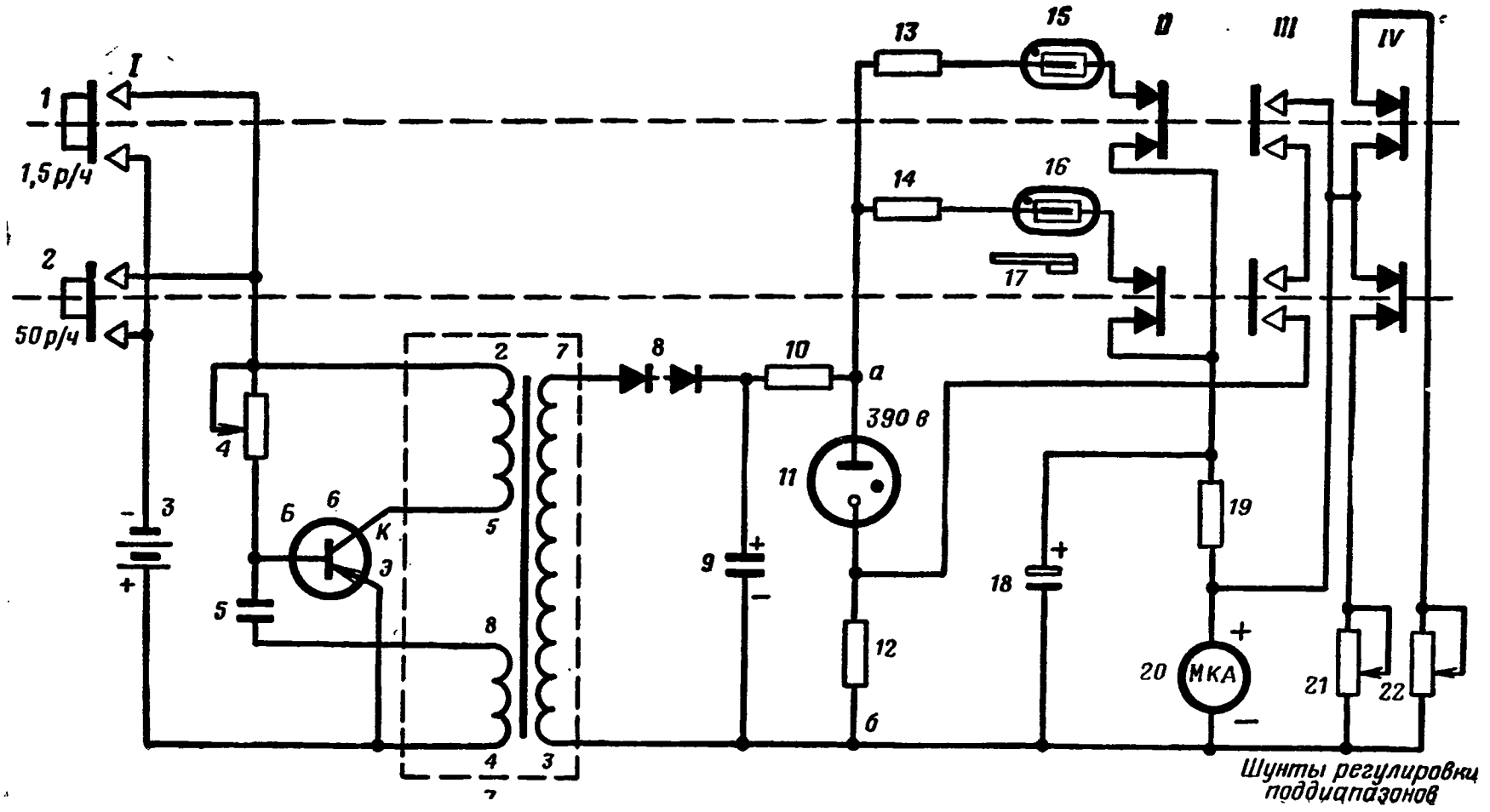


Рис. 145. Принципиальная схема индикатора радиоактивности ДП-63-А

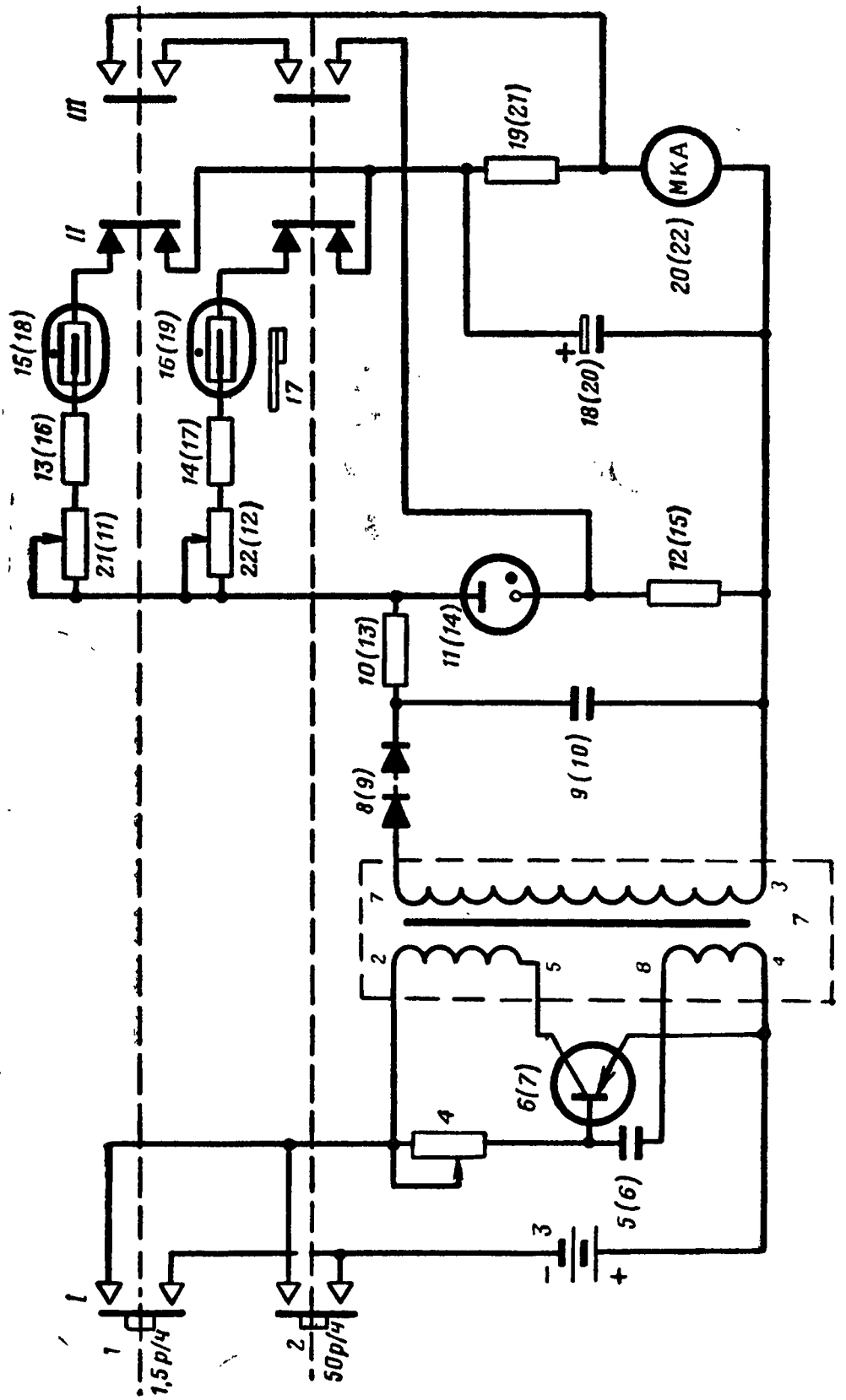


Рис. 146. Принципиальная схема индикатора радиоактивности ДП-63

§ 6. Индикатор радиоактивности ДП-63

Ранее выпущенный индикатор ДП-63 отличается от индикатора ДП-63-А построением электрической схемы (рис. 146) и типом некоторых радиодеталей. В частности, в качестве детекторов в нем используются счетчики СИ-1БГ и СИ-2БГ; преобразователь смонтирован на транзисторе П3В; коммутирующее устройство имеет три пары контактов. Регулировка показаний микроамперметра при градуировке прибора производится резисторами *21* и *22*, включенными последовательно в цепь газоразрядных счетчиков.

Глава III

ИНДИКАТОР-СИГНАЛИЗАТОР ДП-64

§ 1. Назначение и технические данные прибора

Индикатор-сигнализатор ДП-64 предназначен для постоянного радиационного наблюдения и оповещения о радиоактивной зараженности местности. Он работает в следящем режиме и обеспечивает звуковую и световую сигнализацию при достижении на местности уровня гамма-радиации 0,2 *р/ч*. Время срабатывания сигнализации не превышает 3 *сек*.

Прибор работоспособен в интервале температур от —40° до +50° С и при относительной влажности окружающего воздуха до 98%. Питается прибор от сети переменного тока с напряжением 127/220 *в* или от аккумуляторов с напряжением 6 *в*.

Вес прибора не превышает 5 *кг*; вес комплекта — 10,5 *кг*.

Прибор готов к действию через 30 *сек* после включения.

§ 2. Общее устройство прибора

В комплект индикатора-сигнализатора ДП-64 входят прибор, укладочный ящик, техническое описание и инструкция по эксплуатации, формуляр, запасные части и принадлежности.

Электрическая схема прибора смонтирована в пульте сигнализации и в датчике. Датчик соединен с пультом сигнализации кабелем длиной 30 *м*. С помощью второго кабеля пульт присоединяется к источнику электрического питания; этот кабель оканчивается вилкой для подключения к сети переменного тока и двумя выводами («+» и «—») для присоединения к клеммам аккумуляторной батареи.

На передней панели пульта сигнализации расположены (рис. 147): тумблер питания («Вкл. — Выкл.»), тумблер «Работа — Контроль», предохранитель, сигнальная лампа, электромагнитный динамик, инструкция по пользованию прибором.

В датчике размещен детектор ионизирующих излучений — газоразрядный счетчик СТС-5 и контрольный радиоактивный препарат из стронция-90.

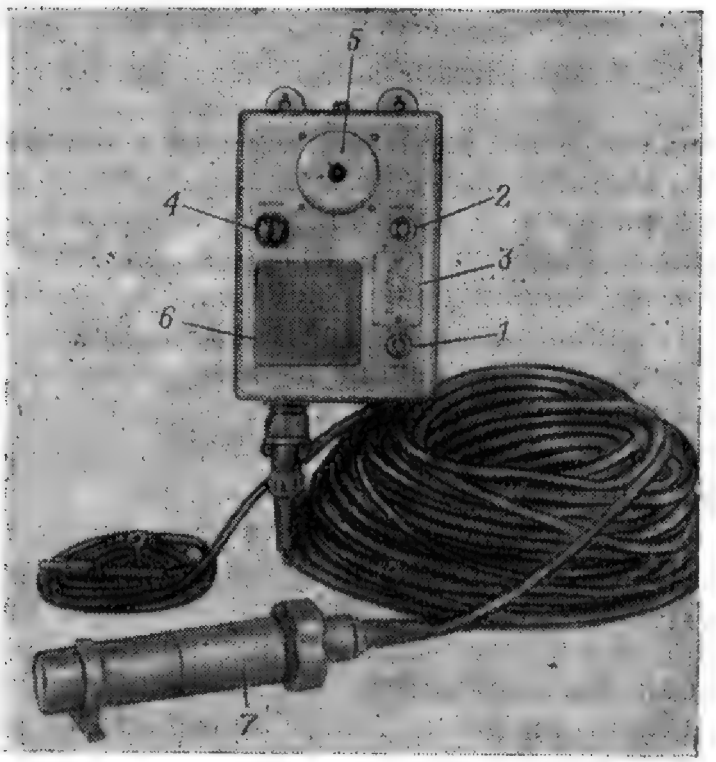


Рис. 147. Индикатор-сигнализатор ДП-64.
1 — тумблер питания; *2* — тумблер «Работа — Контроль»; *3* — отсек «Предохранитель»; *4* — сигнальная лампа; *5* — электромагнитный динамик; *6* — инструкция по пользованию прибором; *7* — датчик

§ 3. Подготовка прибора к действию и работа с ним

Подготовка прибора к действию слагается из следующих последовательных приемов.

Вначале пульт сигнализации подключается к источнику питания. При использовании аккумуляторной батареи выводы кабеля питания присоединяются к клеммам аккумулятора, соблюдая полярность. Если индикатор-сигнализатор питается от сети переменного тока 127/220 *в*, то предохранитель в зависимости от величины напряжения сети устанавливается в одно из двух положений, обозначенных внутри отсека предохранителя.

После этого вилка кабеля питания включается в сеть, тумблер «Вкл. — Выкл.» устанавливается в положение «Вкл.», тумблер «Работа — Контроль» переводится в положение «Контроль». Если прибор исправен, срабатывают световой и звуковой сигналы.

Затем тумблер «Работа — Контроль» переводится в положение «Работа». Индикатор готов к действию.

При появлении сигнала о радиоактивной зараженности прибор выключается переводом тумблера «Вкл. — Выкл.» в положение «Выкл.» и в дальнейшем радиационный контроль осуществляется периодическим кратковременным включением индикатора-сигнализатора.

§ 4. Принципиальная схема прибора

Принцип действия прибора заключается в следующем. В цепи газоразрядного счетчика находится интегрирующий контур, конденсатор которого включен в цепь питания порогового устройства — неоновой лампы и обмотки реле РП-5. Пороговое устройство питается постоянным напряжением, величина которого недостаточна для его срабатывания. При воздействии излучений конденсатор заряжается, повышая напряжение на пороговом устройстве. Когда напряжение на выводах устройства достигает порогового значения, загорается лампа, срабатывает реле, контакты которого замыкают цепь звуковой сигнализации.

Принципиальная схема индикатора состоит из следующих основных узлов (рис. 148): блока питания, интегрирующего контура, порогового устройства и детектора ионизирующих излучений.

Блок питания включает: понижающий трансформатор *16*; двухполупериодный выпрямитель, состоящий из диодов *17* и *18* и фильтра (конденсаторы *19* и *21* и резистор *20*), двухтактный преобразователь на транзисторах *25* и *26*. Схема питается от переменного напряжения 127/220 *в* или постоянного напряжения 6 *в*.

При питании от сети переключение обмоток трансформатора *16* производится с помощью предохранителя *14*, который устанавливается в положение «А» (220 *в*) или «Б» (127 *в*). С выхода понижающего трансформатора *16* переменное напряжение подается на двухполупериодный выпрямитель. Выпрямленное напряжение 6 *в* (точки *а* и *б*) прикладывается к делителю, состоящему из резисторов *22* и *23*. Напряжение на выходе делителя фильтруется конденсаторами *21* и *24*. С этого делителя напряжение подается на вход двухтактного преобразователя.

При питании от аккумуляторной батареи постоянное напряжение 6 *в* непосредственно прикладывается к делителю напряжения, с которого распределяется для питания цепей транзисторов.

В обоих рассмотренных случаях питающее напряжение включается тумблером *15*, ручка которого выведена на переднюю панель индикатора.

С выхода преобразователя снимаются два выпрямленных и стабилизированных напряжения: с конденсаторов *30* и *31* — 390 *в* (точки *в* и *г*) — для питания газоразрядного счетчика СТС-5 *1* (постоянство напряжения поддерживается стабилитроном *33*) и с конденсаторов *37* и *38* — 50 *в* (точки *г* и *д*) — для питания порогового устройства (постоянство напряжения поддерживается кремниевыми диодами *40—43*).

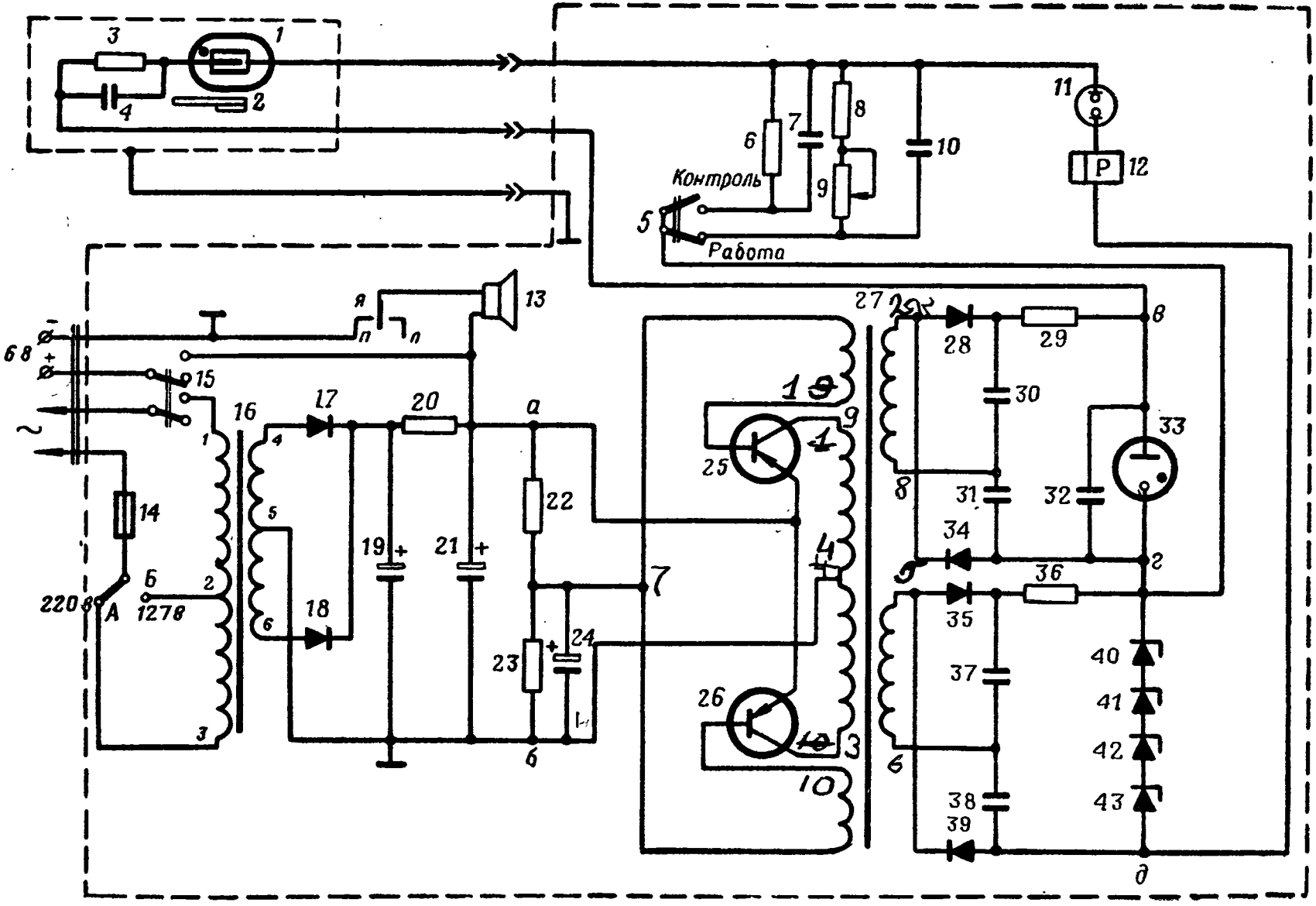


Рис. 148. Принципиальная схема индикатора-сигнализатора ДП-64

Интегрирующий контур в режиме «Работа» составлен из конденсатора *10* и резисторов *8* и *9*; в режиме «Контроль» используются конденсатор *7* и резистор *6*.

Параметры деталей интегрирующего контура в режиме «Контроль» обеспечивают срабатывание порогового устройства от излучения контрольного стронциевого препарата *2*. В режиме «Работа» схема нечувствительна к излучению от препарата. Величина напряжения, устанавливаемая на конденсаторе *10* интегрирующего контура при воздействии ионизирующих излучений, пропорциональна уровню радиации на местности.

Пороговое устройство представляет собой последовательное соединение неоновой лампы ТН-0,2 *11* и поляризованного реле РП-5 *12*, необходимого для включения цепи звуковой индикации. Звуковой сигнал подается динамиком ДЭМ-1 *13*. Динамик питается напряжением 6 *в*, которое снимается с конденсатора *21* в момент срабатывания реле.

В качестве детектора ионизирующих излучений используется газоразрядный счетчик СТС-5 *1*. В цепь счетчика включена цепочка, состоящая из резистора *3* и конденсатора *4*. Резистор *3* служит для ограничения разрядного тока через счетчик, конденсатор *4* — для увеличения амплитуды импульсов напряжения, снимаемых со счетчика, что обеспечивает заданный диапазон индикации гамма-излучения.

Индикатор-сигнализатор ДП-64 работает в двух режимах: контроля, при котором проверяется работоспособность прибора, и индикации, т. е. обнаружения радиоактивного заражения местности.

В **режиме контроля** работоспособности прибора при включенном питании тумблер «Работа — Контроль» устанавливается в положение «Контроль». Ионизирующие излучения, действующие на газоразрядный счетчик СТС-5 от контрольного препарата из стронция-90, вызывают в его цепи импульсный ток. Путь тока: точка *в*, конденсатор *4*, счетчик СТС-5 *1*, конденсатор *7*, тумблер *5*, точка *г*. Конденсатор *7* заряжается. Напряжение на конденсаторе *7* суммируется с постоянным напряжением, приложенным к пороговому устройству от выпрямителя (точки *г* и *д*). Суммарное напряжение становится достаточным для срабатывания порогового устройства, вследствие чего загорается неоновая лампа. Ток протекает по цепи: положительная пластина конденсатора *7*, неоновая лампа *11*, обмотка реле *12*, точка *д*. Контактная пара реле замыкает цепь питания динамика ДЭМ-1 *13*; протекает ток по цепи: положительная пластина конденсатора *21*, динамик *13*, контакты реле *12*, корпус, отрицательная пластина конденсатора *21*. Во время разряда конденсатора *7* напряжение на нем уменьшается и достигает порога гашения неоновой лампы. Лампа гаснет, прекращается протекание тока через обмотку реле, контакты реле размыкаются, перестает звучать динамик. Затем процесс повторяется.

В **режиме индикации** тумблер «Работа — Контроль» переключается в положение «Работа». В этом случае физические процессы не претерпевают изменений от описанных в положении «Контроль» тумблера *5*; изменяются лишь параметры деталей интегрирующего контура (задействованы конденсатор *10*, резисторы *8* и *9*), что обеспечивает срабатывание электрической схемы прибора при действии внешнего гамма-излучения, соответствующего уровню радиации 0,2 *р/ч* и выше.

Регулировка порога чувствительности индикатора-сигнализатора осуществляется при градуировке прибора с помощью резистора *9*.

Глава IV

РЕНТГЕНМЕТР ДП-2

§ 1. Назначение и технические данные прибора

Рентгенметр ДП-2 предназначен для измерения уровней гамма-радиации на местности.

Диапазон измерений прибора — от 0,1 до 200 *р/ч*; он разбит на три поддиапазона: первый — от 0,1 до 2 *р/ч* (положение переключателя «2»), второй — от 1 до 20 *р/ч*, (положение переключателя «20»), третий — от 10 до 200 *р/ч* (положение переключателя «200»). Приведенная погрешность не превышает ±10%.

Прибор работоспособен в интервале температур от —40° до +50° С и при относительной влажности до 98%. Продолжительность работы прибора без смены источников питания 60 *ч*. Для питания электрической схемы используется элемент 1,6-ПМЦ-У-8 и для подсвета шкалы измерительного прибора — элемент 1,6-ПМЦ-У-1,05.

Вес прибора 3,5 *кг*.

Время подготовки прибора к действию 2,5—3,5 *мин*.

§ 2. Общее устройство прибора

Корпус прибора дюралевый. Электрическая схема прибора крепится на внутренней стороне передней панели.

На передней панели расположены (рис. 149): электроизмерительный прибор, переключатель на пять положений: «Выкл.», «Контр. нуля», «2», «20» и «200», ручка установки нуля («Уст. нуля»), кнопка «Препарат», отсек для элемента 1,6-ПМЦ-У-8, отсек с навинчивающейся крышкой и кнопкой «Подсвет» для элемента 1,6-ПМЦ-У-1,05.

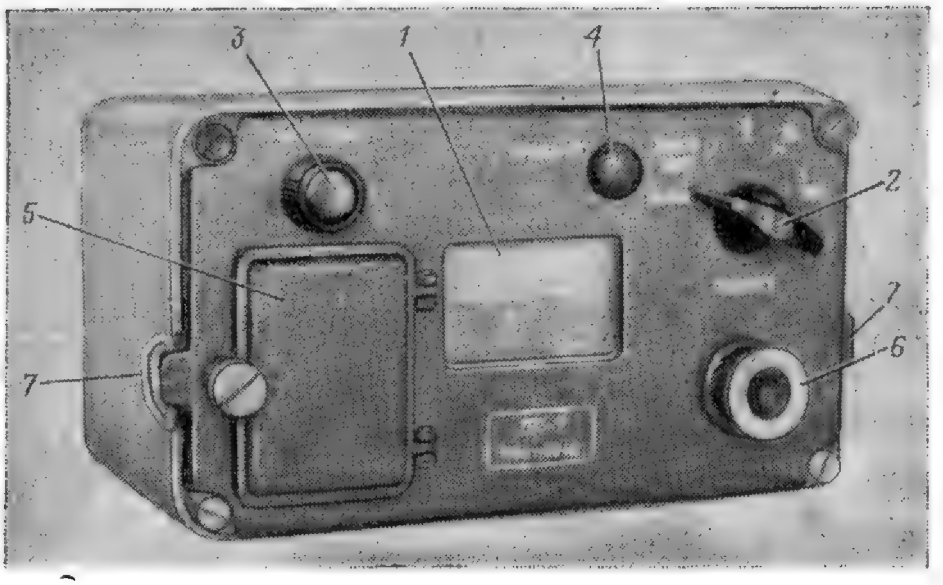


Рис. 149. Рентгенметр ДП-2:
1 — электроизмерительный прибор; *2* — переключатель; 3 — ручка «Уст. нуля»; *4* — кнопка «Препарат»; *5* — отсек питания; *6* — кнопка «Подсвет»; *7* — ушки для крепления переносного ремня

§ 3. Подготовка прибора к действию

Подготовка прибора к работе начинается с проверки комплектности и состояния рентгенметра, переносной сумки, отвертки, технической документации. Проверяя рентгенметр, необходимо убедиться, что переключатель, кнопки «Препарат» и «Подсвет» исправны, на корпусе нет окисления, не нарушены лакокрасочные покрытия, чист отсек питания, цело стекло микроамперметра, прибор герметичен, записи в формуляре сделаны правильно.

Затем переключатель из положения «Выкл.» переводится в положение «Контр. нуля». Ручкой «Уст. нуля» стрелка измерительного прибора устанавливается на нуль шкалы. После этого переключатель перемещается в положение «2»; стрелка микроамперметра не должна отклоняться от нуля более чем на два деления шкалы.

Проверяется работоспособность прибора, для чего нажимается кнопка «Препарат»; стрелка прибора должна находиться в пределах 1,3—1,7 *р/ч*. Показания меньше 1,3 *р/ч* свидетельствуют о непригодности элемента 1,6-ПМЦ-У-8 и он заменяется; при значениях, превышающих 1,7 *р/ч* или меньших 1,3 *р/ч* после замены источника питания, проверяется градуировка рентгенметра.

§ 4. Работа с прибором

Рентгенметр, подготовленный к действию, располагается в 0,7—1 *м* от земли. Работа с ним начинается в положении переключателя «2». При уходе стрелки электроизмерительного прибора за пределы шкалы переключатель переводится в положение «20», а затем в положение «200».

Измеряя уровни радиации, необходимо периодически проверять нуль микроамперметра: первые полчаса через каждые 10 *мин*, а за-

тем через 30 *мин* работы. Проверять и корректировать нуль на зараженной местности можно лишь в положении переключателя «Контр. нуля».

Для снятия отсчетов ночью предусмотрена цепь подсвета шкалы, включаемая нажатием кнопки «Подсвет».

Электроизмерительный прибор имеет пять сменных шкал, каждая из которых соответствует своему рабочему поддиапазону и включается при переходе от одного поддиапазона к другому. Цена деления шкал следующая: для первого поддиапазона — 0,1 *р/ч*, для второго поддиапазона — 1 *р/ч*, для третьего поддиапазона — 10 *р/ч*.

§ 5. Принцип действия прибора

Прибор основан на ионизационном методе обнаружения ионизирующих излучений. В качестве детектора в нем используется ионизационная камера.

Сила ионизационного тока, созданного в цепи детектора, при воздействии ионизирующих излучений прямо пропорциональна уровню гамма-радиации. Однако величина тока составляет тысячные или сотые доли микроампера даже при уровнях радиации, исчисляемых сотнями рентгенов в час. Непосредственно измерить такие значения тока в полевых условиях невозможно. Определение уровня радиации в рентгенметре осуществляется косвенным методом — по величине падения напряжения на высокомегомном резисторе, включенном в цепь ионизационной камеры. Измерение напряжения на высокомегомном резисторе производится с помощью лампового электрометра.

§ 6. Принципиальная схема прибора

Схема прибора включает следующие узлы (рис. 150): источники питания *39* и *41*; преобразователь напряжения (транзистор *36*, трансформатор *31*, селеновые выпрямители *24*, *27* и *29*, конденсаторы *22*, *25*, *26*, *28*, *33* и *42*, резисторы *20*, *23* и *37*); ламповый электрометр; ионизационную камеру *1*; систему коммутации (переключатели *5* и *6*, кнопку *34*); схему подсвета шкалы микроамперметра.

В положении переключателя «Выкл.» схема обесточена (переключатель *6а*), выводы микроамперметра коротко замкнуты (переключатель *6б*).

В положении переключателя «Контр. нуля» производится контроль и установка нуля микроамперметра. На преобразователь подается напряжение от элемента 1,6-ПМЦ-У-8, плюс которого через переключатель *6а* соединен с эмиттером; минус элемента через резистор *37* соединен с базой транзистора П201А. Выходная обмотка трансформатора имеет три секции, с выводов которых снимаются напряжения питания: цепи ионизационной камеры — 200 *в* (с конденсатора *22*), анодной цепи — 20 *в* (с конденсатора *26*), цепи ком-

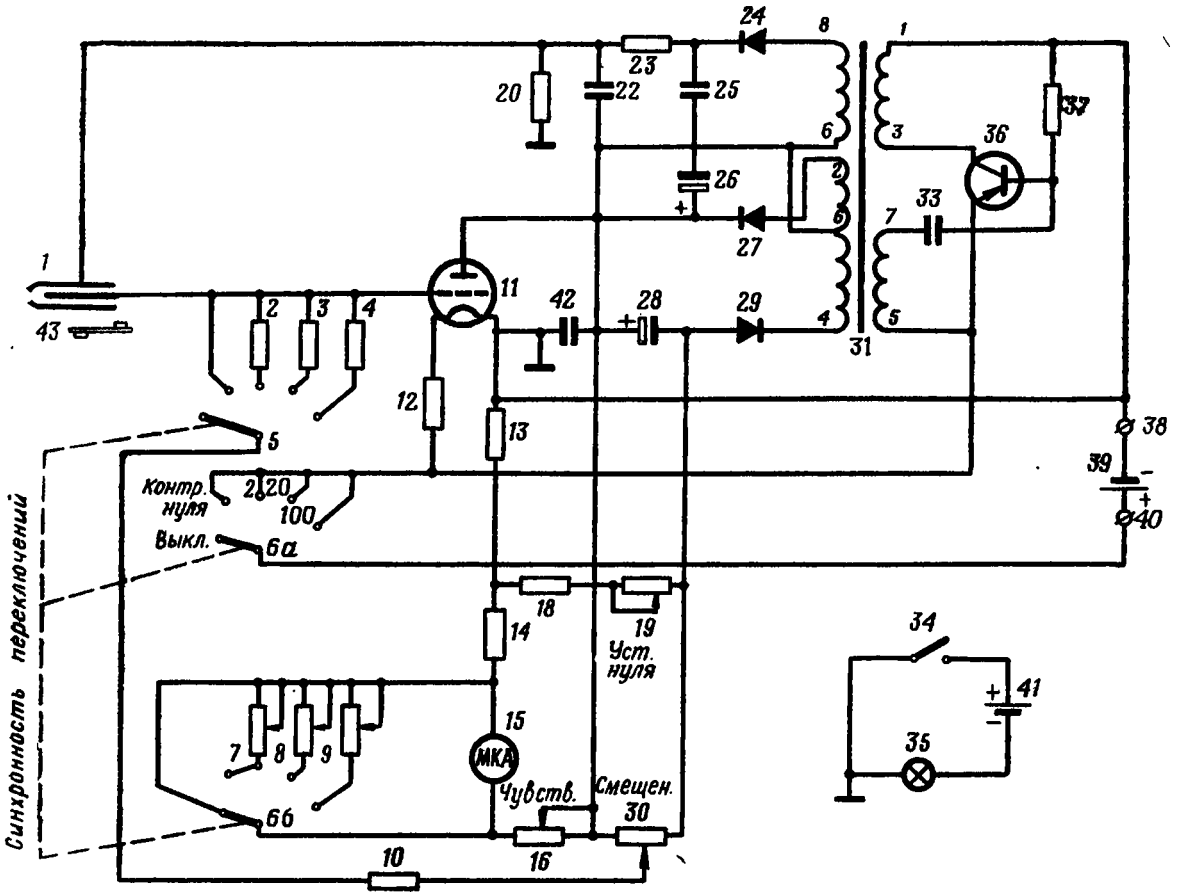


Рис. 150. Принципиальная схема рентгенметра ДП-2

пенсации и смещения — 10 *в* (с конденсатора *28*). В последнюю цепь включен потенциометр «Смещение» *30*, с которого напряжение смещения $E_{см}$ подается: минусом — с движка резистора *30* через резистор *10* и переключатель *5* на управляющую сетку электрометрической лампы *11*, плюсом — через резистор *16*, микроамперметр *15*, резисторы *14* и *13* на катод лампы. Ток накала протекает по цепи: плюс элемента 1,6-ПМЦ-У-8, переключатель *6а*, резистор *12*, катод лампы *11*, минус элемента 1,6-ПМЦ-У-8.

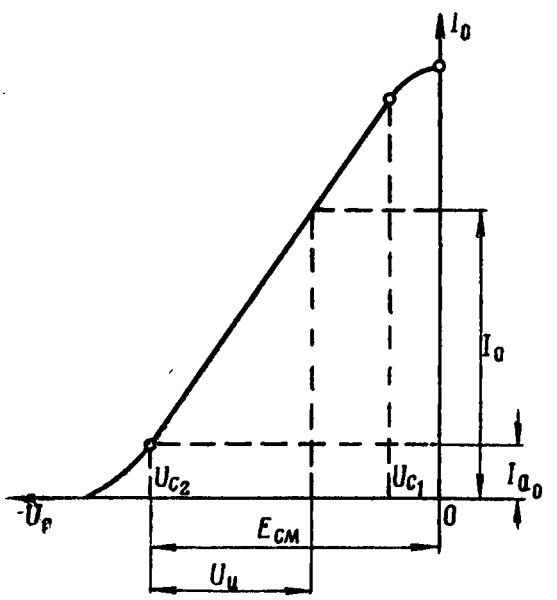


Рис. 151. Сеточная характеристика анодного тока лампы ЭМ-4

В анодной цепи лампы протекает начальный ток I_{a_0}, соответствующий напряжению на сетке $E_{см}$ (рис. 151), по пути: положительная пластина конденсатора *26* (рис. 150), участок анод — катод лампы *11*, резисторы *13* и *14*, микроамперметр *15*, а также через параллельную микроамперметру

ветвь, включающую резистор *7* и переключатель *6б*, далее через резистор *16* к отрицательной пластине конденсатора *26*. Стрелка отклоняется на деление, соответствующее силе начального анодного тока лампы *11*. Это явление нежелательно, так как при отсутствии ионизирующих излучений стрелка прибора должна находиться на нуле. Для установления стрелки на нуль навстречу анодному току протекает ток компенсации: положительная пластина конденсатора *28*, резистор *16*, микроамперметр *15*, а также по параллельной микроамперметру ветви, содержащей переключатель *6б* и резистор *7*, и далее через резисторы *14*, *18* и *19* к отрицательной пластине конденсатора *28*. Вращением ручки резистора *19* «Уст. нуля» величина компенсационного тока подбирается равной начальному анодному току. При этом стрелка устанавливается на нуль шкалы электроизмерительного прибора.

Работа схемы в положении переключателя «Контр. нуля» не зависит от воздействия ионизирующих излучений, так как в этом положении отсутствует входной резистор, а ко входу лампы приложено лишь напряжение смещения. Это позволяет, находясь на радиоактивно зараженной местности, производить контроль нуля рентгенметра.

В положении переключателя «2» проверяется годность элемента питания схемы и работоспособность прибора от радиоактивного препарата.

Ионизационная камера рентгенметра в боковой стенке имеет отверстие, куда могут проникать ионизирующие частицы от стронциевого препарата, укрепленного на внешней стенке корпуса камеры. Между препаратом и корпусом расположена стальная шторка, изолирующая в рабочем состоянии прибора камеру от препарата. Шторка приводится в действие устройством, заканчивающимся кнопкой «Препарат», выведенной на переднюю панель рентгенметра.

При проверке работоспособности кнопка «Препарат» удерживается в нажатом состоянии: шторка поднимается, открывая путь бета-частицам внутрь камеры. В результате происходящей ионизации воздуха по цепи камеры протекает ионизационный ток $I_и$ по пути: положительная пластина конденсатора *22*, ионизационная камера *1*, резистор *2*, переключатель *5*, резисторы *10* и *30*, отрицательная пластина конденсатора *22*. На входном резисторе *2* создается падение напряжения $U_и$, плюс которого приложен к управляющей сетке лампы (наряду с отрицательным напряжением смещения). Результирующее напряжение на управляющей сетке возрастает, возрастает и анодный ток до величины $I_а$ (рис. 151). Признаком исправности рентгенметра является установление стрелки микроамперметра на деление 1,5 *р/ч* (или близкое ему значение, отмеченное в техническом формуляре прибора).

Градуировка рентгенметра производится резистором *7*.

В рабочем состоянии рентгенметра (положения переключателя «2», «20» и «200»), т. е. при измерении уровней радиации на местности, физические процессы в схеме не отличаются от описанных

для положения переключателя «2», за исключением того, что отклонение стрелки микроамперметра происходит от действия на ионизационную камеру внешнего гамма-излучения. При этом показание прибора пропорционально уровню радиации на местности.

С ростом уровня радиации положительное напряжение на управляющей сетке повышается. Когда результирующее напряжение достигает величины U_{c_1} (рис. 151), стрелка измерительного прибора выходит за пределы шкалы, исключая измерения на верхнем криволинейном участке характеристики лампы ЭМ-4. В этом случае измерения продолжаются на следующих поддиапазонах рентгенметра.

В положениях переключателя «20» и «200» в качестве входных сопротивлений используются резисторы *3* (рис. 150) и *4*, величины которых меньше номинала резистора *2* в 10 и 100 раз соответственно, что позволяет при бóльших уровнях радиации, вызывающих бóльшие ионизационные токи, протекающие по меньшим сопротивлениям, обеспечить работу лампы на линейном участке характеристики и тем самым расширить диапазон измерения рентгенметра. В качестве шунтов микроамперметра используются резисторы *8* и *9* для подстройки показаний микроамперметра при градуировке каждого из поддиапазонов.

Электрическая схема прибора ДП-2 обеспечивает требуемую точность измерений и стабильность работы благодаря ее построению. Так, расположение микроамперметра в катодном участке анодной цепи позволяет использовать один источник для питания двух цепей — компенсации и смещения. Кроме того, микроамперметр, обладающий сравнительно большим сопротивлением, увеличивает нагрузку и обеспечивает 100% обратную связь в виде автоматического смещения, роль которого будет описана ниже.

Нагрузкой анодной цепи в катодном участке служат резисторы *13* и *14*, микроамперметр, резисторы *16*, *7*, *8* и *9*. Резистор *14* — термосопротивление; он обладает отрицательным температурным коэффициентом. При понижении температуры величина входных резисторов *2*, *3* и *4* возрастает, что могло бы привести к повышению чувствительности прибора, т. е. к завышению показаний рентгенметра. Однако этого не происходит, так как одновременно увеличивается сопротивление терморезистора *14* и общее сопротивление нагрузки. Последнее приводит к эквивалентному понижению чувствительности прибора. Этим исключается погрешность измерений рентгенметра при изменении температуры.

В схеме прибора ДП-2 цепь накала лампы ЭМ-4 не имеет реостата, с помощью которого можно поддерживать постоянное напряжение на катоде и на входе преобразователя. При свежем элементе избыточное напряжение (0,4 *в*) гасится на постоянном резисторе *12*. Постепенный расход энергии элемента приводит к изменению накала лампы и напряжения питания преобразователя. Уменьшение питания преобразователя сказывается на величинах выходных напряжений, обеспечивающих работу ионизационной ка-

меры, анодной цепи, цепи смещения и компенсации. Если изменение питания цепи ионизационной камеры и цепи компенсации не оказывает серьезного влияния на точность работы схемы, то уменьшение напряжения цепей накала, анода и смещения может привести к изменению анодного тока, по силе которого измеряется уровень радиации.

Для поддержания постоянства анодного тока в схеме предусмотрена цепь автоматического смещения (рис. 152). В катодный участок анодной цепи лампы включен резистор R^{I}, на котором анодный ток создает падение напряжения. Это напряжение через резистор R^{II} прикладывается минусом на управляющую сетку лампы. Кроме того, на управляющую сетку подано постоянное напряжение смещения $E_{см}$.

Под значением R и R^{II} (по которому ток не протекает) следует понимать (в зависимости от поддиапазона измерения):

$$R^{I} = R_{18} + R_{14} + \frac{R_{15}R_{7\,(8,\,9)}}{R_{15} + R_{7\,(8,\,9)}} + R_{16}; \qquad (176)$$

$$R^{II} = R_{30} + R_{10} + R_{2\,(3,\,4)}. \qquad (177)$$

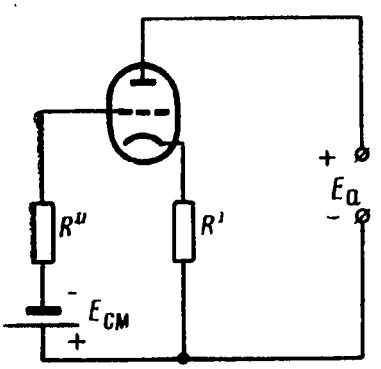


Рис. 152. Цепь автоматического смещения

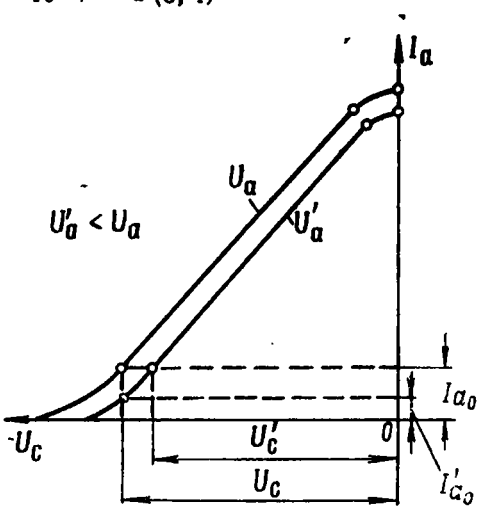


Рис. 153. Анодно-сеточные характеристики лампы ЭМ-4

Следовательно, результирующее отрицательное напряжение U_c, приложенное к сетке лампы, равно сумме абсолютных значений:

$$U_c = |E_{см}| + |I_{a_0}R^{I}|. \qquad (178)$$

Величины напряжений, питающих цепи лампы ЭМ-4 (рис. 153), в том числе и напряжение на управляющей сетке, при заводской настройке подобраны так, что рабочая точка совпадает с началом линейного участка сеточной характеристики ламп. Напряжение на аноде лампы равно U_a. Ток в анодной цепи лампы равен I_{a_0}. С течением времени в связи с расходом энергии питающего элемента произойдет спад напряжения питания потребителей и анодное на-

пряжение уменьшится до величины U_a'. Это приведет к уменьшению силы анодного тока до I'_{a_0} и к уменьшению падения напряжения на резисторе R^1, но, так как уменьшается значение $E_{см}$ и суммарное напряжение на управляющей сетке

$$U'_c = |E_{см}| + |I'_{a_0} R^1|, \qquad (179)$$

то рабочая точка на характеристике лампы смещается вправо, причем величины элементов цепи таковы, что анодный ток возрастает при этом до прежней величины I_{a_0}. Безусловно, стабилизация анодного тока возможна лишь до определенного предела уменьшения напряжения элемента питания.

Резисторы, включенные в цепь ионизационной камеры, имеют очень большие величины. При изготовлении возможен разброс их номиналов до ±20%. Кроме того, с течением времени они изменяют свою величину. Отличие величин входных резисторов от расчетных значений может привести к изменению напряжения на управляющей сетке и силы анодного тока. По этой же причине может быть нарушена декадность поддиапазонов. Устранение возможных ошибок производится при градуировке прибора резисторами *7* (рис. 150), *8* и *9*, шунтирующими микроамперметр на соответствующих поддиапазонах.

Подсвет шкалы микроамперметра осуществляется от автономной цепи, включающей элемент 1,6-ПМЦ-У-1,05, лампу *35* и кнопку *34*.

Глава V

РЕНТГЕНМЕТР ДП-3 (ДП-3-Б)

§ 1. Назначение и технические данные рентгенметра

Рентгенметр ДП-3 (ДП-3-Б) предназначен для измерения уровней гамма-радиации на местности при ведении радиационной разведки. Прибор устанавливается на подвижных объектах (автомобиль, танк, бронетранспортер, вертолет).

Диапазон измерений — от 0,1 до 500 *р/ч*, разбит на четыре поддиапазона: первый — от 0,1 до 1 *р/ч* (положение переключателя «×1»), второй — от 1 до 10 *р/ч* (положение переключателя «×10»), третий — от 10 до 100 *р/ч* (положение переключателя «×100») и четвертый — от 50 до 500 *р/ч* (положение переключателя «500»). Приведенная погрешность измерений составляет: ±15% на первом поддиапазоне и ±10% на остальных поддиапазонах.

Прибор работоспособен в интервале температур от —40° до +50° С и при относительной влажности до 98%.

Источники питания — бортовая сеть с напряжением 12 ± 1 *в* или $26 \pm \frac{3}{2}$ *в*.

Вес комплекта около 4,4 *кг*.

Время подготовки прибора к работе 5 *мин*.

§ 2. Общее устройство прибора

Комплект рентгенметра содержит: измерительный пульт, выносной блок, соединительный кабель, кабель питания, крепежные скобы, запасное и вспомогательное имущество, техническую документацию.

Измерительный пульт рентгенметра ДП-3 (рис. 154) состоит из металлического корпуса, передней панели, двух задних крышек — верхней и нижней. Крышки уплотнены резиновыми прокладками и закреплены невыпадающими винтами. На передней панели пульта расположены: ручка переключателя на шесть положений — выключено («Выкл.»), проверка («Пр.»), «×1», «×10», «×100» и «500», микроамперметр, лампа световой индикации, патрон с лампой подсвета шкалы измерительного прибора и указателя положений переключателя, патрон с запасной лампой подсвета, предохранители,

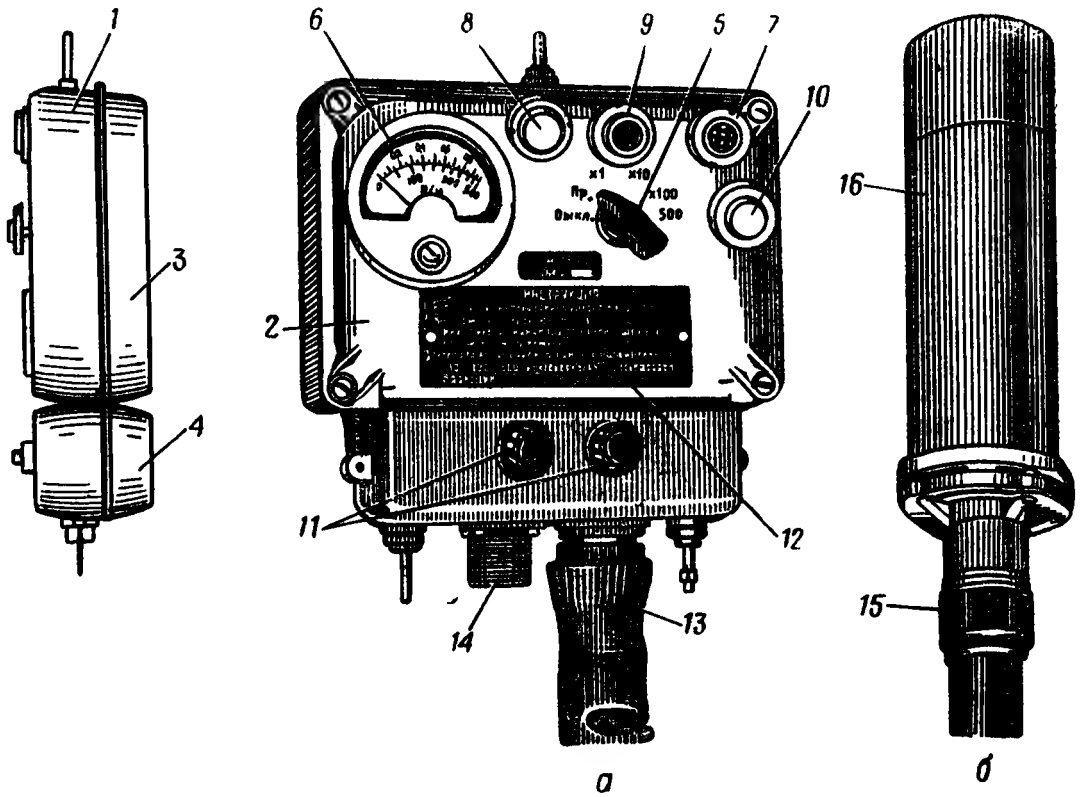


Рис. 154. Рентгенметр ДП-3:

а — измерительный пульт; *б* — выносной блок

1 — корпус; *2* — передняя крышка; *3* — верхняя задняя крышка; *4* — нижняя задняя крышка; *5* — ручка переключателя; *6* — электроизмерительный прибор; *7* — лампа световой индикации; *8* — патрон с лампой подсвета шкалы; *9* — указатель положений переключателя; *10* — патрон с запасной лампой подсвета; *11* — предохранители; *12* — инструкция по пользованию прибором; *13* — колодка кабеля, соединяющего измерительный пульт с выносным блоком; *14* — колодка кабеля питания; *15* — корпус выносного блока; *16* — кожух

инструкция по пользованию прибором. В нижней части корпуса закреплены две колодки: одна — для соединения прибора с выносным блоком, другая — для подключения прибора к бортовой сети. Пульт с помощью резиновых амортизаторов, шпилек и гаек помещен в крепящие скобы, устанавливаемые на подвижном объекте.

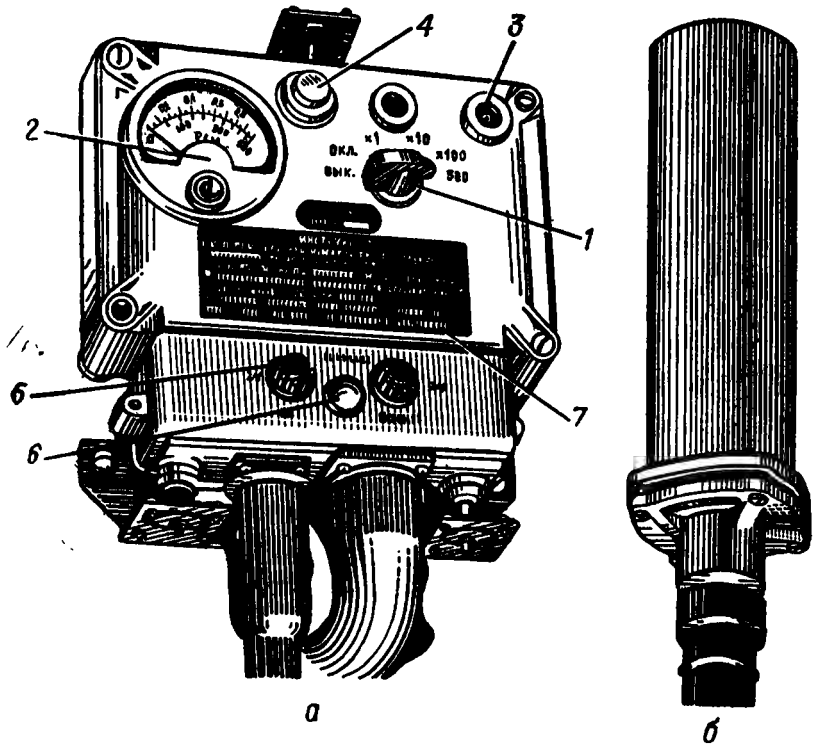


Рис. 155. Рентгенметр ДП-3-Б:
а — измерительный пульт; *б* — выносной блок
1 — ручка переключателя, *2* — электроизмерительный прибор; *3* — лампа световой индикации; *4* — патрон с лампой подсвета шкалы; *5* — предохранитель; *6* — кнопка «Проверка»; *7* — инструкция по пользованию прибором

В отличие от рентгенметра ДП-3 на передней панели измерительного пульта рентгенметра ДП-3-Б (рис. 155) отсутствуют патрон с запасной лампочкой, положение переключателя «Пр.» заменено на «Вкл.», между предохранителями помещена кнопка «Проверка».

Выносной блок одинаков для обоих приборов. Он состоит из корпуса, цилиндрического кожуха, закрепленного на корпусе четырьмя винтами.

В походном положении выносной блок крепится внутри объекта с помощью скобы и амортизаторов.

§ 3. Подготовка прибора к действию

Подготовка рентгенметра к действию слагается из проверки комплекта, внешнего осмотра прибора и принадлежностей, сборки прибора, подключения к цепи питания, проверки работоспособности.

При внешнем осмотре измерительного пульта проверяется герметичность крышек корпуса, защитного стекла микроамперметра, тиратрона, патронов, четкость фиксации положений переключателя, соответствие положений ручки обозначенным надписям, целостность лакокрасочного покрытия. При осмотре выносного блока следует убедиться в отсутствии вмятин и его герметичности.

Завод-изготовитель выпускает рентгенметры для установки на объекты с бортовой сетью 26 *в*. В случае первоначального монтажа прибора на объекте с бортовым напряжением 12 *в* необходимо: снять заднюю нижнюю крышку измерительного пульта и ручки двух тумблеров, расположенных в отсеке, перевести из положения «26 *в*» в положение «12 *в*», после чего заднюю крышку установить на прежнее место; в основной и запасной патроны ввернуть лампочки подсвета шкал А-22, рассчитанные на 12 *в*. Затем следует соединить кабелем измерительный пульт с выносным блоком и кабелем питания подключить измерительный пульт к колодке бортовой сети, соблюдая полярность; провод с наконечником, имеющийся на пульте, закрепить на корпусе объекта.

Проверка работоспособности рентгенметра ДП-3 производится в положении переключателя «Пр.». В этом случае стрелка микроамперметра должна установиться в пределах 0,4—0,8 *р/ч*, а индикаторная лампа должна мигать с частотой 3—4 вспышки в секунду. Работоспособность прибора ДП-3-Б проверяется в положении переключателя «Вкл.» нажатием кнопки «Проверка». При этом стрелка микроамперметра должна находиться в пределах 0,4—0,8 *р/ч*, а индикаторная лампа давать частые вспышки или гореть непрерывно. Кроме того, в положениях переключателя «Пр.» («Вкл.»), «×1», «×10», «×100» и «500» наличие звуков высокого тона, характерных при работе преобразователя, и подсвет измерительных шкал также свидетельствуют об исправности прибора.

§ 4. Работа с прибором

Отличительной особенностью рентгенметра ДП-3 (ДП-3-Б) по сравнению с другими приборами является наличие выносного блока. Выносной блок с расположенным в нем детектором ионизирующих излучений может крепиться внутри подвижного объекта, а также выставляться наружу.

В зависимости от способа расположения выносного блока меняется характер проведения измерения уровня радиации. При размещении блока внутри объекта показания рентгенметра умножаются на коэффициент ослабления (автомобиль — 2, бронетранспортер — 4, танк — 10). Если выносной блок находится вне объекта, то необходимость в поправочных коэффициентах отпадает.

Шкала измерительного прибора двухрядная. Верхний ряд отградуирован от 0 до 1 *р/ч*, цена малого деления 0,05 *р/ч*. Верхняя шкала используется при работе в положениях переключателя «×1», «×10» и «×100»; в этом случае показания измерительного

прибора умножаются на коэффициент, указываемый ручкой переключателя. Например, для измерительных шкал рентгенметра, находящегося внутри бронетранспортера (рис. 156, *а*), уровень радиации составляет

$$P = 0{,}75 \cdot 10 \cdot 4 = 30 \ р/ч.$$

Измерения по верхней шкале возможны до 100 *р/ч*. Значения уровней радиации, превышающие 100 *р/ч*, определяются в положении переключателя «500» по нижнему ряду измерительного прибора. Нижний ряд отградуирован от 0 до 500 *р/ч*, цена деления 50 *р/ч*.

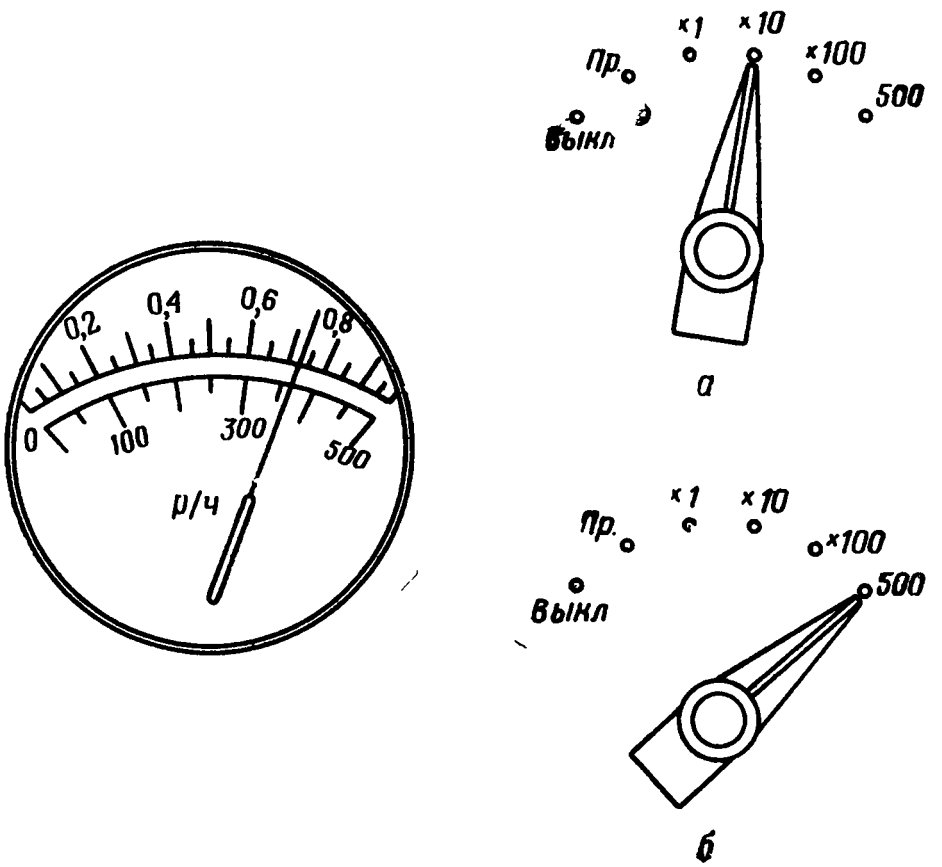


Рис. 156. Отсчетные шкалы рентгенметра ДП-3

Шкала прямопоказывающая. Например, при выносном блоке, расположенном вне подвижного объекта, и показаниях прибора, приведенных на рис. 156, *б*, уровень радиации на местности равен 400 *р/ч*.

В процессе измерений периодически контролируется работоспособность прибора.

§ 5. Принцип работы рентгенметра

На рис. 157 показана блок-схема рентгенметра ДП-3 (ДП-3-Б). Основными элементами ее являются: ионизационная камера, нормализатор импульсов, интегрирующий контур, схема ограничения импульсов, схема световой индикации, блок питания.

Ионизационная камера служит детектором гамма-излучения и работает в режиме заряда — разряда. При отсутствии ионизирующих излучений она заряжена до номинального напряжения. При воздействии излучений происходит ионизация воздуха внутри камеры и нейтрализация зарядов на электродах, вследствие чего напряжение на них понижается, а затем восстанавливается до прежнего значения схемой нормализатора. В результате этого на

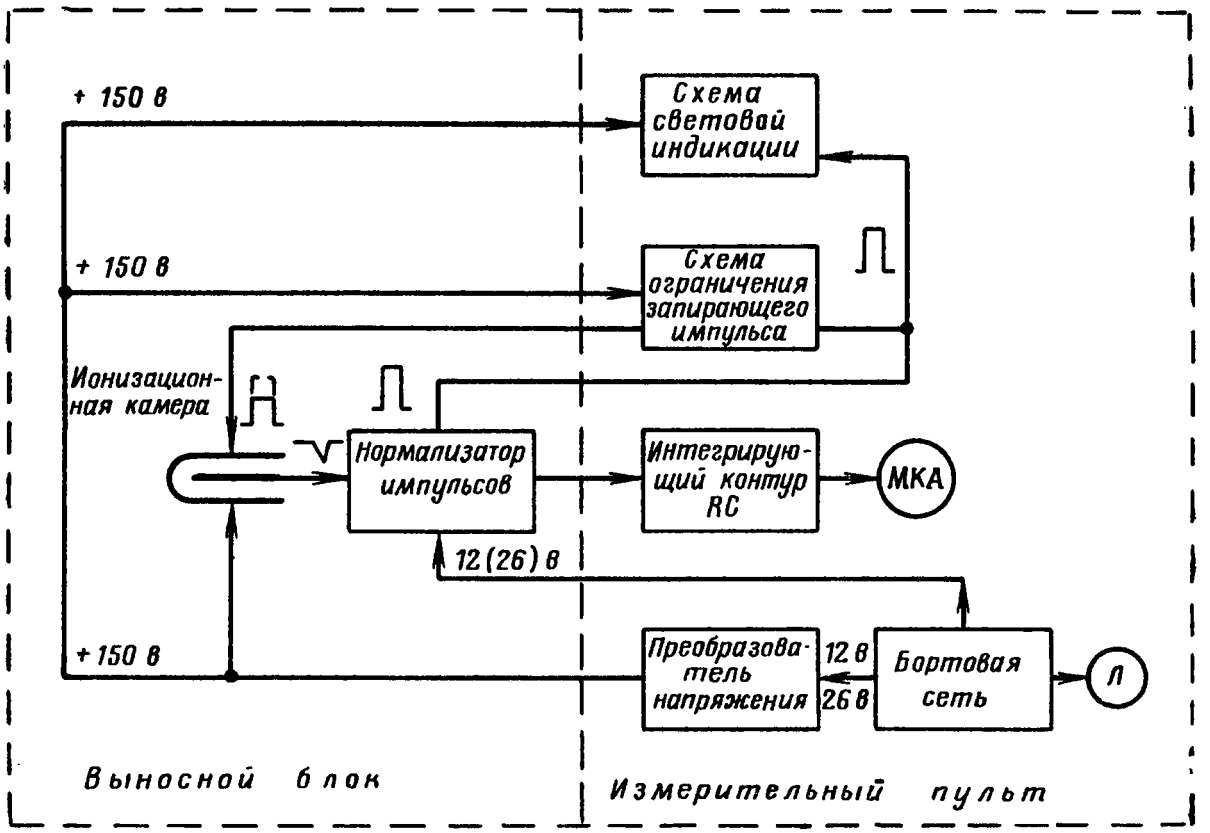


Рис. 157. Блок-схема рентгенметра ДП-3 (ДП-3-Б)

электродах камеры создается напряжение пилообразной формы. Количество циклов заряда — разряда, происходящее в единицу времени, прямопропорционально уровню гамма-радиации на местности.

Необходимо преобразовать импульсы пилообразной формы в прямоугольные, одинаковые по амплитуде и длительности, т. е. произвести их калибровку. Такие импульсы можно точнее подсчитать. Для калибровки импульсов предусмотрено электронное формирующее устройство — нормализатор импульсов. Это устройство является схемой с анодно-сеточными емкостными связями: анод предыдущей лампы связан с управляющей сеткой последующей лампы через конденсатор. Схема имеет одно устойчивое состояние ввиду наличия общей катодной нагрузки. Импульсы, сформированные нормализатором, предназначены для запуска схемы световой индикации, заряда ионизационной камеры и конденсатора интегрирующего контура.

Интегрирующий контур предназначен для преобразования импульсов, поступающих с формирующего каскада, в постоянный ток, регистрируемый микроамперметром. Сила преобразованного тока пропорциональна величине уровня радиации, что позволяет отградуировать шкалу микроамперметра в единицах «рентген в час».

Схема ограничения импульсов предназначена для ограничения амплитуды импульсов до величины, необходимой для восстановления на ионизационной камере рабочего напряжения.

При воздействии ионизирующих излучений происходит разряд камеры-конденсатора до определенного напряжения. Дозарядка камеры производится импульсами, вырабатываемыми нормализатором. Этим определяется чувствительность схемы и точность измерений, производимых с помощью рентгенметра.

Схема световой индикации, собранная на тиратроне МТХ-90, необходима для контроля рабочего режима рентгенметра, а также для привлечения внимания оператора к прибору при воздействии ионизирующих излучений.

Бортовая сеть и преобразователь напряжения служат для питания камеры и электрических цепей ламп постоянным напряжением. Преобразователь собран по двухтактной схеме на транзисторах П4Г.

§ 6. Упрощенная принципиальная схема прибора

Упрощенная схема рентгенметра ДП-3 (рис. 158) соответствует принципиальной схеме прибора на первом поддиапазоне (положение переключателя «×1»).

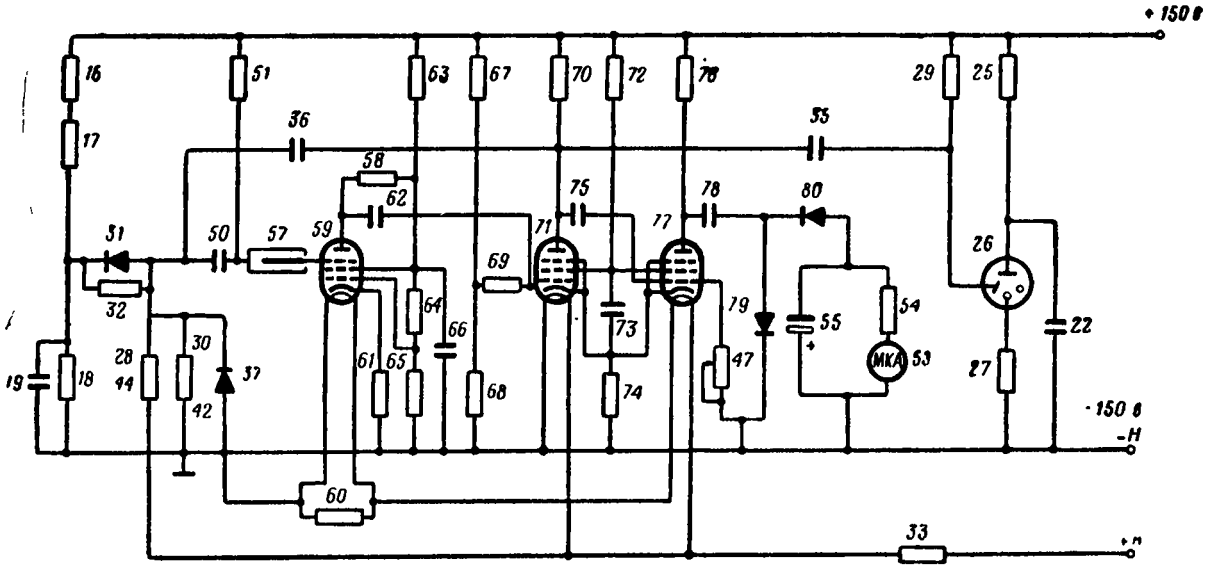


Рис. 158. Упрощенная схема рентгенметра ДП-3

В исходном состоянии схемы напряжение бортовой сети приложено к входу преобразователя и к шинам накала. Накальные цепи электронных ламп показаны на рис. 159. Напряжение питания це-

пи накала ламп 12 *в*. Нити накала ламп *71* и *77* соединены параллельно, нить накала лампы *59* шунтируется резистором *60*. Между собой эти потребители соединены последовательно. Напряжение накала лампы *59* понижено до 4 *в*; лампы *71* и *77* имеют напряжение накала 6 *в*. Питание ионизационной камеры, анодных и экранных цепей электронных ламп, тиратрона МТХ-90 и цепи ограничения импульсов производится постоянным стабилизированным напряжением 150 *в*, снимаемым с выхода преобразователя напряжения.

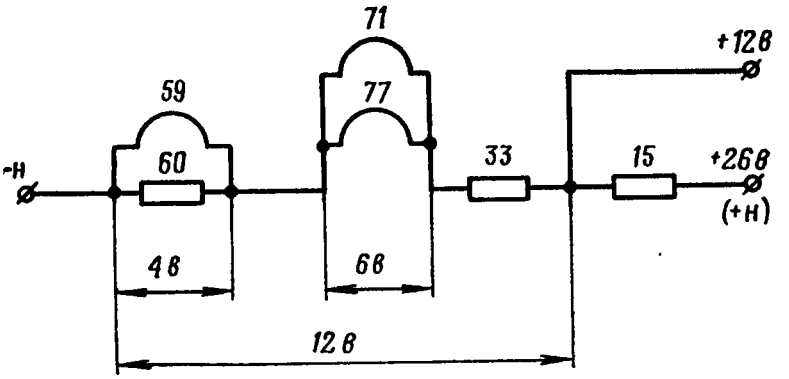


Рис. 159. Схема накальных цепей рентгенметра ДП-3

Напряжение на вход лампы *71* (рис. 158) снимается с делителя, составленного из резисторов *67* и *68*. Электрический ток протекает через делитель по цепи: шина «+150 *в*», резисторы *67* и *68*, шина «—150 *в*». Ток создает на резисторе *68* напряжение, которое через резистор *69* приложено плюсом к управляющей сетке, а минусом через резистор *74* к катоду лампы *71*. Лампа *71* открыта. Путь анодного тока лампы *71*: шина «+150 *в*», резистор *70*, участок анод — катод лампы, резистор *74*, шина «—150 *в*». На резисторе *74* создается падение напряжения, его минус через резистор *47* приложен к управляющей сетке лампы *77*. Величина приложенного напряжения достаточна для запирания этой лампы. Лампа *77* закрыта.

Сложнее объясняется запирание лампы *59*. В момент включения питания напряжение «+150 *в*» прикладывается через резистор *51* к корпусу ионизационной камеры, напряжение «—150 *в*» — через резистор *61* к катоду лампы *59*. Следовательно, между электродами камеры и участком 3-я сетка — катод лампы *59* возникает электрическое поле. Участок 3-я сетка — катод представляет собой последовательное соединение емкостей: катод — 1-я сетка, 1-я сетка — 2-я сетка, 2-я сетка — 3-я сетка.

Из рис. 160 видно, что 3-я сетка лампы *59* имеет положительный потенциал относительно катода. При разогретом катоде это приводит к возникновению анодного и сеточного токов. Причем электроны, осаждающиеся на 3-й сетке, нейтрализуют положительный заряд сетки. Это явление продолжается до полного уравнивания потенциала сетки с потенциалом катода. Следовательно, 3-я сетка и центральный электрод камеры окажутся под одинаковым потен-

циалом с катодом, что позволяет ионизационной камере зарядиться до напряжения 150 *в*.

Конденсатор *50* (рис. 158) также заряжен до 150 *в*. Ток заряда этого конденсатора протекает через резисторы *51* и *42*, *30*.

Возникновение анодного тока в лампе *59* приводит к падению напряжения на резисторах *58* и *63*, к понижению напряжения на аноде лампы *59* и к разряду конденсатора *62*. Путь тока разряда конденсатора *62*: положительная пластина конденсатора, участок «анод — катод» лампы *59*, резисторы *61*, *68* и *69*, отрицательная пластина конденсатора. На резисторах *68* и *69* создается падение напряжения, минус которого прикладывается к управляющей сетке лампы *71*. Лампа *71* запирается.

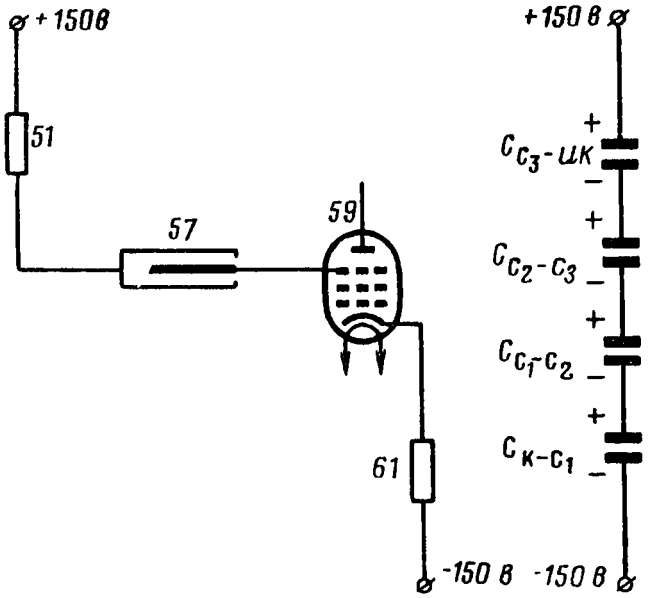


Рис. 160. Входная цепь лампы *59*

С закрытием лампы *71* начинается заряд конденсатора *36*. Ток заряда конденсатора *36* протекает по цепи: шина «+150 *в*», резистор *70*, конденсатор *36*, резисторы *42* и *30*, шина «—150 *в*». На резисторах *42* и *30* создается падение напряжения. Это напряжение суммируется с напряжением конденсатора *50* и прикладывается к ионизационной камере *57* и к участку 3-я сетка — катод (через резистор *61*). При этом 3-я сетка имеет положительный потенциал относительно катода, что приведет к эмиссии электронов на 3-ю сетку и к нейтрализации положительных зарядов на ней. Повторился ранее описанный процесс, с той лишь разницей, что в рассматриваемом случае напряжение на камере превышает 150 *в*.

По окончании времени заряда конденсатора *36* падение напряжения на резисторах *42* и *30* исчезает, ионизационная камера, имеющая избыточный заряд, начинает разряжаться по цепи: корпус камеры, конденсатор *50*, резисторы *42*, *30* и *61*, емкость участка 3-я сетка — катод лампы *59*, центральный электрод камеры. Из трех емкостей, включенных в цепь разряда ионизационной камеры, емкость 3-я сетка — катод наименьшая. Поэтому избыточное напряжение между зарядами камеры и конденсатора *50* прикладывается к участку 3-я сетка — катод (минусом на сетку). Это приводит к надежному запиранию лампы *59*.

Итак, лампа *59* закрыта, лампа *71* открыта, лампа *77* закрыта. Конденсаторы *50*, *78* и *22* заряжены до напряжения источника, конденсатор *62* заряжен до напряжения на аноде лампы *59*, конденса-

торы *35*, *36* и *75* разряжены до напряжения на аноде открытой лампы *71*, конденсатор *55* интегрирующего контура разряжен. Стрелка микроамперметра находится на нуле шкалы.

При **воздействии ионизирующих излучений** происходит ионизация воздуха внутри камеры. Созданные при этом электрические частицы осаждаются на электродах камеры и нейтрализуют на них заряды, что приводит к уменьшению напряжения на камере и к возрастанию потенциала 3-й сетки. Лампа *59* открывается. В момент открытия лампы *59* конденсатор *62* разряжается по пути: положительная пластина конденсатора, лампа *59*, резисторы *68* и *69*, отрицательная пластина конденсатора. Образуемое на резисторах *68* и *69* падение напряжения прикладывается минусом к управляющей сетке лампы *71*, закрывая ее. При переходе этой лампы из открытого состояния в закрытое происходит заряд конденсаторов *35*, *36* и *75*. Ток заряда конденсатора *75* протекает по цепи: шина «+150 *в*», резистор *70*, конденсатор *75*, резистор *47*, шина «—150 *в*». Положительный потенциал напряжения, образованного на резисторе *47*, прикладывается к управляющей сетке ранее закрытой лампы *77*. Лампа *77* открывается. Через открытую лампу *77* протекает анодный ток по пути: шина «+150 *в*», резистор *76*, участок анод — катод лампы *77*, резистор *74*, шина «—150 *в*». На резисторе *74* происходит падение напряжения, минус которого через резисторы *68* и *69* приложен к управляющей сетке лампы *59*, удерживая ее в закрытом состоянии. Время нахождения лампы *77* в открытом состоянии определяется длительностью заряда конденсатора *75* и может изменяться регулировкой величины резистора *47*. С открытием лампы *77* разряжается конденсатор *78* по пути: положительная пластина конденсатора, лампа *77*, резистор *74*, конденсатор *55*, диод *80*, отрицательная пластина конденсатора *78*. При этом конденсатор *55* интегрирующего контура заряжается.

Произошло первое опрокидывание схемы: лампа *59* открыта, лампа *71* закрыта, лампа *77* открыта.

По окончании заряда конденсатора *75* положительный потенциал на управляющей сетке лампы *77* исчезает, анодный ток этой лампы падает, уменьшается величина падения напряжения на резисторе *74*, создаваемого анодным током лампы *77*. Это приводит к открытию лампы *71*. Через лампу *71* протекает анодный ток по пути: шина «+150 *в*», резистор *70*, участок анод — катод лампы *71*, резистор *74*, шина «—150 *в*». На резисторе *74* образуется падение напряжения, минус которого через резистор *47* прикладывается к управляющей сетке лампы *77*. Это напряжение достаточно для запирания лампы *77*.

С запиранием лампы *77* происходит разряд конденсатора *55* интегрирующего контура по цепи: положительная пластина конденсатора, микроамперметр *53*, резистор *54*, отрицательная пластина конденсатора. Количество циклов заряда — разряда конденсатора *55* в единицу времени пропорционально числу циклов заряда — разряда ионизационной камеры, которое в свою очередь пропорционально уровню радиации на зараженной местности.

Одновременно с процессами, протекающими в каскадах ламп *71* и *77* происходит заряд конденсатора *36*. Время заряда этого конденсатора значительно больше времени переходных процессов в лампах *71* и *77*. Ток заряда конденсатора *36* протекает по пути: шина «+150 *в*», конденсатор *36*, резисторы *42*, *30*, шина «—150 *в*». На резисторах *42*, *30* образуется падение напряжения, которое прикладывается к последовательно соединенным емкостям — конденсатору *50*, ионизационной камере и к участку 3-я сетка — катод лампы *59*. Возникающие при этом процессы были описаны выше. В результате протекания тока заряда конденсатора *36* ионизационная камера дозаряжается до номинального напряжения, достаточного для запирания лампы *59* по 3-й сетке. Лампа *59* закрылась.

Схема вернулась в исходное положение: лампа *59* закрыта, лампа *71* открыта, лампа *77* закрыта.

Напряжение, созданное на резисторах *42*, *30* и предназначенное для дозаряда ионизационной камеры и запирания лампы *59*, называется запирающим импульсом. Величина этого импульса

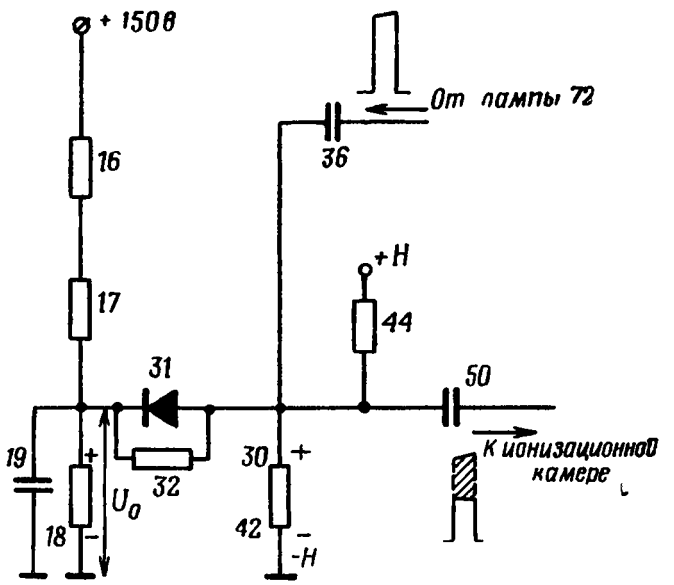


Рис. 161. Схема ограничения запирающих импульсов в положении «×1»

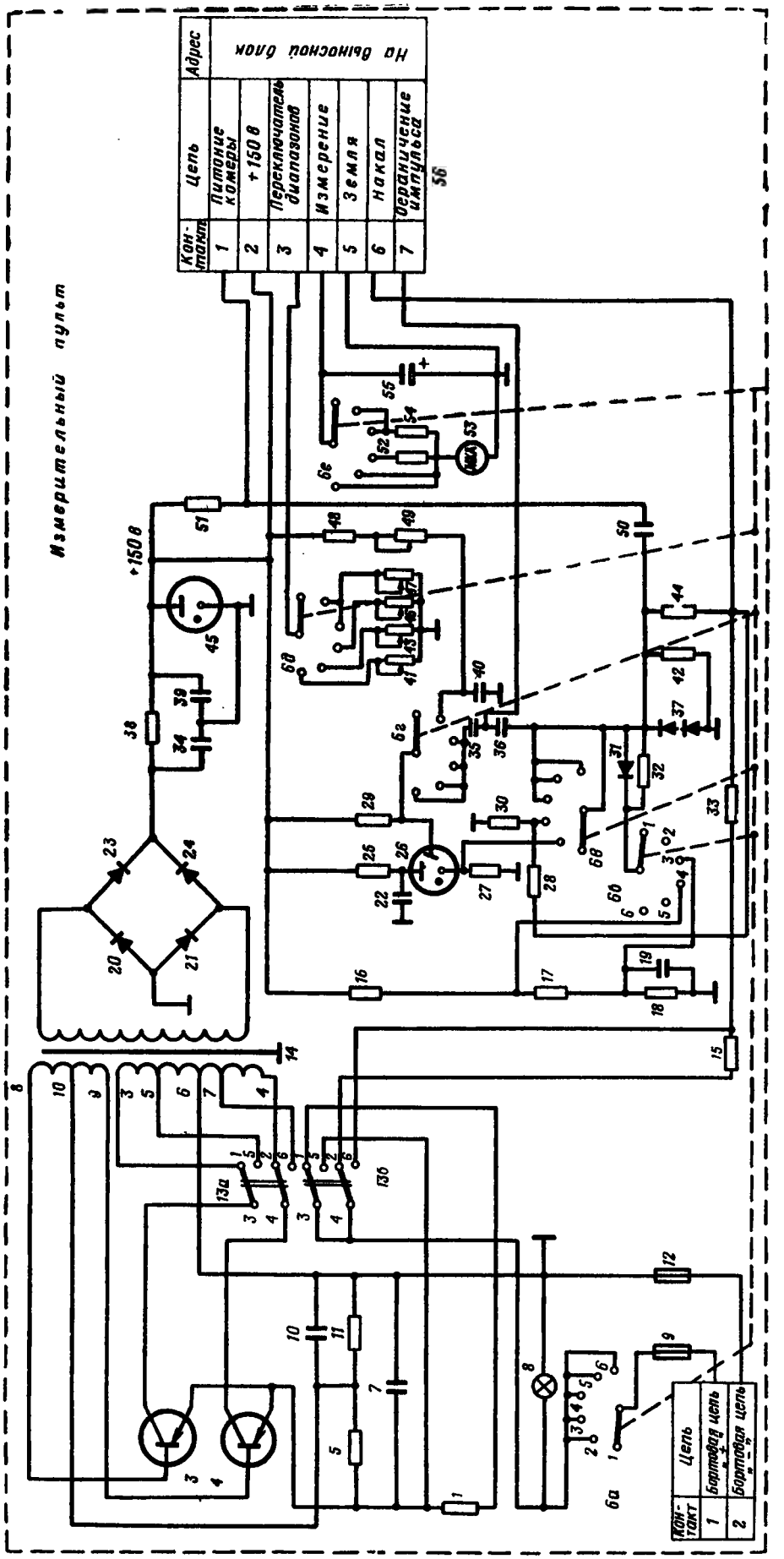
должна быть строго определенной. Ограничение величины запирающего импульса производится с помощью схемы, изображенной на рис. 161. По делителю, составленному из проволочных резисторов *16*, *17* и *18*, протекает электрический ток. Образованное на резисторе *18* напряжение U_0 плюсом приложено к катоду диода *31*, минусом — к его аноду. Это напряжение постоянно, оно называется опорным. Анод диода присоединен к резисторам *42*, *30* (рис. 158), по которым протекает ток заряда конденсатора *36*. При отсутствии тока заряда конденсатора *36* диод *31* заперт, так как ток накала создает на резисторах *42*, *30* постоянное напряжение, меньшее опорного. Зарядный ток конденсатора *36* создает на резисторах *42*, *30* дополнительное падение напряжения. Положительный потенциал этого напряжения приложен к аноду диода *31*, отрицатель-

ный — через резистор *18* — к катоду диода *31*. Как только величина суммарного напряжения на резисторах *42*, *30* превысит значение опорного напряжения, диод *31* откроется, его сопротивление резко упадет, ток заряда конденсатора *36* начнет протекать через диод *31* и резистор *18*. Образованное на резисторах *42*, *30* напряжение, имеющее постоянную величину, поступает на ионизационную камеру. Следовательно, камера будет всегда заряжаться до номинального значения, обеспечивая нормальную работу рентгенметра.

Схема ограничения запирающего импульса имеет цепь компенсации, так как при увеличении оборотов двигателя подвижного объекта возрастает напряжение бортовой сети, что приводит к росту напряжения накала и к увеличению потока электронов на 1-ю и 2-ю сетки лампы *59*. Возрастание сеточных токов вызовет возрастание падения напряжения на резисторе *61*, что уменьшит напряжение на резисторах *64* и *65* делителя. В результате этого потенциалы на 1-й и 2-й сетках, на аноде лампы *59* уменьшаются. Поскольку напряжение на ионизационной камере (и на 3-й сетке) остается прежним, а анодное напряжение понизилось, то это равносильно увеличению отрицательного потенциала на 3-й сетке лампы *59* и уменьшению чувствительности схемы. Для устранения этого явления используются резисторы *42*, *30* и *44*, *28*, т. е. делитель напряжения, питаемый от бортовой сети (рис. 162). Ток протекает по цепи: «+» бортовой сети, предохранитель *9*, переключатель *6а*, тумблер *13б*, резисторы *15*, *33*, *44* и *42*, корпус, предохранитель *12*, «—» бортовой сети (на первом поддиапазоне рентгенметра параллельно резисторам *44* и *42* переключателем *6в* присоединяются резисторы *28* и *30* соответственно). Возрастание напряжения питания бортовой сети повышает падение напряжения на резисторах *42*, *30*, создаваемое током накала, и способствует открытию диода *31* при меньшем падении напряжения на резисторах *42*, *30* за счет тока заряда конденсатора *36*. Следовательно, при прежней величине опорного напряжения импульсы, создаваемые на резисторах *42*, *30* током заряда конденсатора *36*, будут ограничиваться до меньшего уровня. Уменьшение величины запирающего импульса поставит лампу *59* в режим, обеспечивающий регистрацию заданных уровней радиации.

Нормализатор импульсов имеет вспомогательный узел — цепь световой индикации на тиратроне МТХ-90. В исходном режиме к участкам анод — катод и поджигающий электрод — катод тиратрона МТХ-90 приложено напряжение 150 *в*. Протекает ток ждущего режима тиратрона по цепи: шина «+150 *в*» (рис. 158), резистор *29*, участок поджигающий электрод — катод, резистор *27*, шина «—150 *в*». На резисторе *29* создается падение напряжения, благодаря чему величина напряжения на поджигающем электроде меньше потенциала зажигания.

В момент закрытия лампы *77* конденсатор *35* начинает заряжаться. Путь зарядного тока: шина «+150 *в*», резистор *70*, конденсатор *35*, участок сетка — катод тиратрона, резистор *27*, шина


Измерительный пульт
На выносной блок
Адрес
Кон-такт
Цепь
1 Питание камеры
2 +150 в
3 Переключатель диапазонов
4 Измерение
5 Земля
6 Накал
7 Ограничение импульса
56
+150 в
Кон-такт
Цепь
1 Бортовая цепь
2 Бортовая цепь

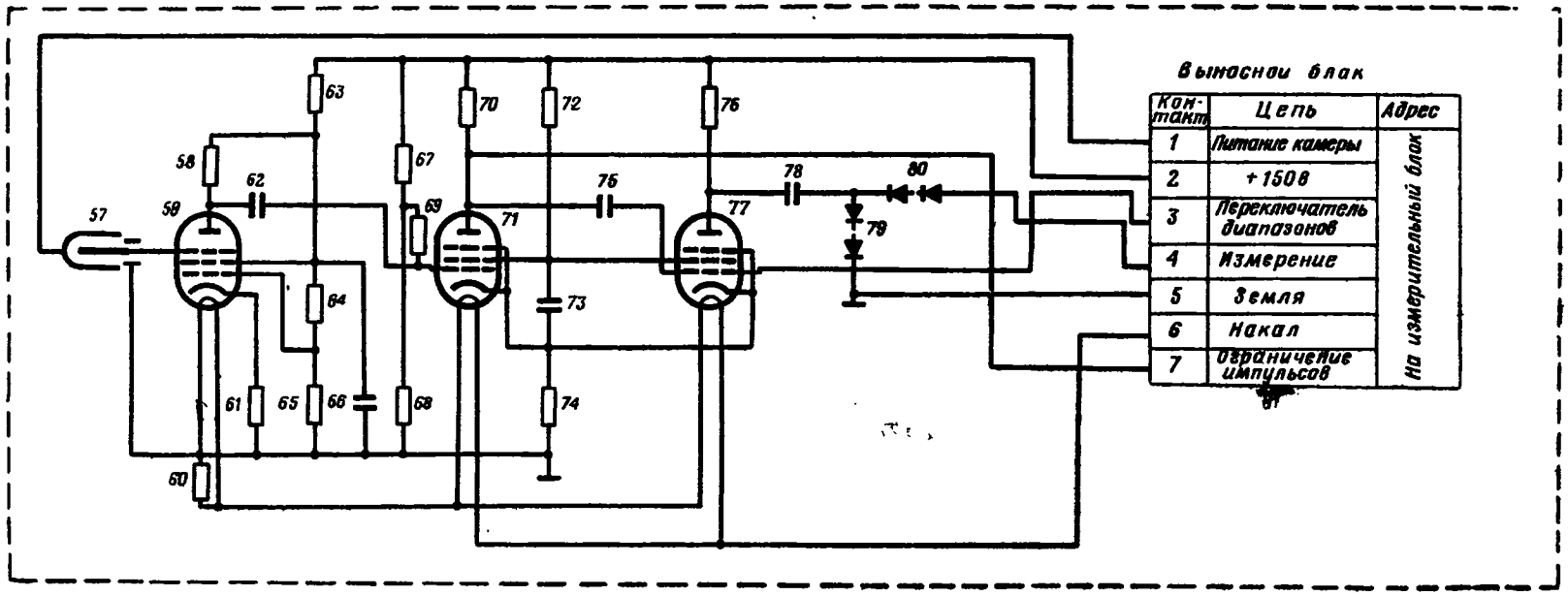


Рис. 162. Принципиальная схема рентгенметра ДП-3

«—150 *в*». Происходит повышение положительного потенциала сетки, что вызывает ионизацию газа. Внутреннее сопротивление тиратрона резко падает. Через тиратрон протекает сеточный и анодный токи, а также ток разряда конденсатора *22*, увеличивая яркость вспышки. Путь анодного тока: шина «+150 *в*», резистор *25*, участок анод — катод тиратрона, резистор *27*, шина «—150 *в*». Протекая, анодный ток создает падение напряжения на резисторах *25* и *27*. Потенциал на аноде резко падает, достигая порога гашения. Одновременно прекращается заряд конденсатора *35*. Тиратрон гаснет, напряжение на конденсаторе *22* восстанавливается. Схема возвращается в исходное состояние. Количество вспышек тиратрона и импульсов напряжения, снимаемых с резистора *27*, в единицу времени пропорционально числу циклов заряд — разряд ионизационной камеры.

§ 7. Принципиальная схема рентгенметра ДП-3

Цепь накала ламп и преобразователь питаются от бортовой сети 12 *в* или 26 *в*. Переключение схемы при переходе с одного питающего напряжения на другое производится двумя тумблерами — *13а* и *13б* (рис. 162). Напряжение, которое приложено к цепи накала ламп и к входу преобразователя, равно 12 *в*. Поэтому при питании напряжением 26 *в* (положение «1» и «2» тумблеров *13а* и *13б*) избыток напряжения 14 *в* гасится на резисторах *1* и *15*.

Преобразователь напряжения содержит транзисторы *3* и *4*, трансформатор *14*, диоды *20*, *21*, *23* и *24*, резисторы *1*, *5*, *11* и *38*, конденсаторы *7*, *10*, *34* и *39* и стабилитрон *45*. С анода стабилитрона *45* снимается потенциал +150 *в*; с катода стабилитрона потенциал —150 *в* подается на корпус прибора.

Нормализатор импульсов собран на лампах 6Ж1Ж и 6Ж1Б. На входе нормализатора имеется ионизационная камера *57*, на выходе — в анодную цепь лампы *77* включен интегрирующий контур RC (конденсатор *55*, резисторы *52* и *54*, микроамперметр *53*).

Кроме того, электрическая схема рентгенметра ДП-3 содержит цепь световой индикации и цепь ограничения запирающего импульса.

К средствам коммутации, использованным в схеме, относятся два тумблера для переключения питания бортовой сети, штепсельный разъем и колодка на семь контактов для соединения измерительного пульта и выносного блока, штепсельный разъем и колодка на два контакта кабеля питания и переключатель, составленный из шести плат, каждая из которых имеет шесть положений: «Выкл.», «Пр.», «×1», «×10», «×100» и «500».

В **положении переключателя «Выкл.»** схема обесточена (переключатель *6а*).

В **положении переключателя «Пр.»** плюс питания бортовой сети 26 *в* через предохранитель *9*, переключатель *6а* подается на электрод лампы подсвета *8*, через положение «1» тумблера *13б*,

резистор *1* — на эмиттеры транзисторов *3* и *4* преобразователя напряжения и через положение «2» тумблера — на положительную шину цепи накала. Минус бортовой сети через предохранитель *12* присоединяется к корпусу прибора. Работа цепи накала рассмотрена в § 6 данной главы.

Напряжение +150 *в* приложено: через резистор *51* и контакт 1 колодки *56* и разъема *81* — к корпусу ионизационной камеры *57*; через резистор *25* — на анод и через резистор *29* — на сетку тиратрона *26*; через резистор *25* — на конденсатор *22*; на делитель напряжения из постоянных резисторов *16*, *17* и *18*, на цепь заряда конденсатора *40*, включающую резисторы *48* и *49* и конденсатор *40*; через контакт 2 колодки *56* и разъема *81* — на делитель напряжения из резисторов *67* и *68*, на делитель напряжения из резисторов *63*, *64* и *65*, через резистор *72* — на экранные сетки ламп *71* и *77*, через резисторы *63* и *58*, *70* и *76* — соответственно на аноды ламп *59*, *71* и *77*.

В положении переключателя «Пр.» производится контроль рабочего режима рентгенметра. Тиратрон *26* находится в ждущем режиме, его сетка (поджигающий электрод) присоединена к конденсатору *40*. Протекает ток заряда конденсатора *40* по цепи: шина «+150 *в*», резисторы *48* и *49*, конденсатор *40*, шина «—150 *в*». Время заряда конденсатора регулируется резистором *49*.

Когда напряжение на конденсаторе *40* достигает напряжения зажигания тиратрона, он вспыхивает. Через лампу *26* протекает анодный ток и токи разряда конденсаторов *22* и *40*. Последний разряжается по цепи: положительная пластина конденсатора, участок сетка — катод тиратрона, резистор *27*, шина «—150 *в*».

Вследствие падения напряжения на резисторах *25* и *27* напряжение на аноде лампы *26* уменьшается, тиратрон гаснет. Начинается восстановление напряжения на конденсаторах *22* и *40*. Процесс повторяется. Постоянная времени цепи заряда — разряда конденсатора *40* такова, что тиратронная схема дает 3—4 вспышки в секунду.

При открытии лампы *26* протекает анодный ток по цепи: шина «+150 *в*», резистор *25*, участок анод — катод тиратрона, а затем через резистор *27* — на корпус, а также через переключатель *6в* и резистор *42* — также на корпус («—150 *в*»). На резисторе *42* образуется падение напряжения, которое суммируется с напряжением на конденсаторе *50* и прикладывается через емкость ионизационной камеры и резистор *61* к участку сетка — катод лампы *59*. Лампа *59* открывается. Лампа *71* закрывается, а лампа *77* открывается.

Открытию лампы *77* способствует положительный потенциал на резисторе *47*, созданный протекающим током заряда, конденсаторов *36* и *75* по цепи: шина «+150 *в*», резистор *25*, участок анод — катод лампы *26*, переключатель *6в*, конденсатор *36*, контакт 7 колодки *56* и разъема *81*, конденсатор *75*, контакт 3 разъема *81* и колодки *56*, переключатель *6д*, резистор *47*, шина «—150 *в*». Лампа *77* открывается. Конденсатор *78* разряжается. Путь тока разряда:

положительная пластина конденсатора, лампа *77*, резистор *74*, корпус, конденсатор *55*, контакт 4 колодки *56* и разъема *81*, диод *80*, отрицательная пластина конденсатора *78*. Происходит заряд конденсатора *55* интегрирующего контура. При переходе лампы *77* из открытого состояния в закрытое конденсатор *55* разряжается через микроамперметр *53* и резистор *54*.

В исправном приборе стрелка микроамперметра колеблется в пределах 0,4—0,8 шкалы прибора.

В **положении переключателя «×1»** продолжают работать все электрические схемы рентгенметра. Происходящие при этом физические процессы рассмотрены в § 6 настоящей главы.

Следует отметить, что физические процессы в § 6 были рассмотрены по путям протекания токов заряда и разряда конденсаторов. Существует и другой метод объяснения работы электрической схемы — по перепадам напряжения, создаваемым на анодах ламп в момент перехода их из открытого состояния в закрытое и обратно. Перед рассмотрением работы рентгенметра по этому методу напомним, что при переходе лампы из закрытого состояния (когда $U_a = E_a$) в открытое (когда $U_a < E_a$) на ее аноде формируется отрицательный перепад напряжения, или отрицательный импульс (на рис. 163 *а* в момент t_1 лампа открылась, в момент t_2 — закры-

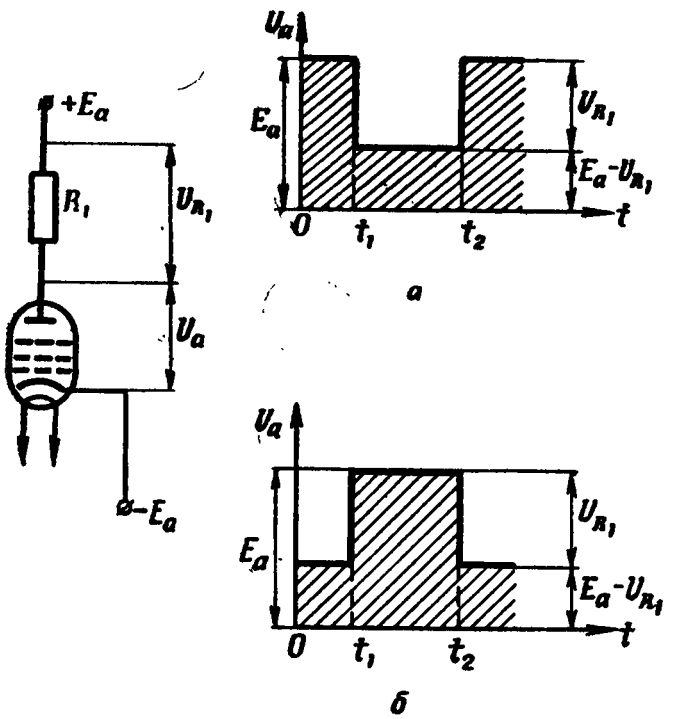


Рис. 163. Изменение напряжений на аноде лампы

лась). Переход лампы из открытого положения в закрытое сопровождается созданием положительного перепада (положительного импульса) на аноде лампы (на рис. 163, *б* до момента t_1 лампа открыта; в момент t_1 лампа закрылась, в момент t_2 — открылась). На основе этого метода рассмотрим физические процессы в схеме **в положении переключателя «×10»** (рис. 162).

В исходном режиме лампы *59* и *77* закрыты, лампа *71* открыта. Конденсаторы *78*, *50* и *22* заряжены до 150 *в*, конденсатор *62* заряжен до напряжения на аноде лампы *59*, конденсаторы *75*, *35* и *36* разряжены до напряжения между анодом и катодом лампы *71*; конденсатор *55* интегрирующего контура разряжен. Стрелка микроамперметра находится на нуле. Прибор готов к работе.

При воздействии ионизирующих излучений в результате ионизации воздуха и нейтрализации зарядов на электродах камеры возрастает потенциал на 3-й сетке лампы *59*. Лампа открывается. На аноде лампы *59* создается отрицательный перепад напряжения, поступающий через конденсатор *62* на управляющую сетку открытой лампы *71*. Лампа *71* закрывается. На аноде этой лампы формируется положительный перепад напряжения, который передается: через конденсатор *75* — на управляющую сетку закрытой лампы *77* и открывает лампу, через контакт 7 разъема *81* и колодки *56*, конденсаторы *36* и *50*, контакт 1 колодки *56* и разъема *81* — на ионизационную камеру, через конденсатор *35* и переключатель *6г* — на сетку тиратрона *26*. При открытии лампы *77* анодный ток лампы создает на резисторе *74* падение напряжения, прикладываемое минусом через резисторы *68* и *69* к управляющей сетке лампы *71*, удерживая ее в запертом состоянии. Длительность импульса и пребывание лампы *77* в открытом состоянии определяется постоянной времени заряда конденсатора *75*, регулируемой с помощью резистора *46*. Одновременно конденсатор *78* заряжает конденсатор *55* интегрирующего контура (через открытую лампу *77*).

По окончании действия импульса (заряда конденсатора *75*) уменьшается падение напряжения на резисторе *74*. Лампа *71* открывается. Анодный ток лампы *71* создает на резисторе *74* падение напряжения, минус которого через корпус, резистор *46*, контакт 3 колодки *56* и разъема *81* приложен к управляющей сетке лампы *77*. Лампа *77* закрывается. Конденсатор *55* разряжается через микроамперметр и резистор *52*. Схема возвращается в исходное состояние.

Цепь световой индикации работает следующим образом (рис. 164). В исходном состоянии тиратрон *26* находится в ждущем режиме. С закрытием лампы *71* (рис. 162) положительный импульс через контакт 7 разъема *81* и колодки *56*, конденсатор *35* и переключатель *6г* поступает на сетку лампы *26*, повышая положительный потенциал сетки. Тиратрон вспыхивает. Дальнейшее протекание физических процессов рассматривалось.

В **положениях переключателя «×10», «×100» и «500»** расширяются рабочие поддиапазоны рентгенметра благодаря использованию иных деталей. Так, в цепь конденсатора *75* включается переменный резистор *46* («×10»), *43* («×100») или *41* («500»); конденсатор *55* интегрирующего контура разряжается через резистор *52* («×10»), а в положениях «×100» и «500» — через микроамперметр (без добавочного резистора). В положении переключателя «×10» опорное напряжение снимается с двух последовательно соединен-

ных резисторов *17* и *18;* в положениях переключателя «×100» и «500» цепь ограничения запирающего импульса отключается (переключатель *6б*).

При описании физических процессов не были освещены некоторые технические особенности, заслуживающие внимания. В частности, экранные сетки ламп пентодов *71* и *77* питаются от постоянного источника 150 *в*; напряжение на них снимается с конденсатора *73*, плюсом — на экранные сетки, минусом — на катоды. Ток заряда конденсатора *73* протекает по цепи: шина «+150 *в*», резистор *72*, конденсатор *73*, резистор *74*, шина «—150 *в*». Конденсаторы *19* и *66* поддерживают постоянство напряжений на потребителях: конденсатор *19* — на резисторе *18* при работе схемы ограничения запирающего импульса в положении переключателя «×1», конденсатор *66* — на резисторах *65* и *64* делителя напряжения, питающего 1-ю и 2-ю

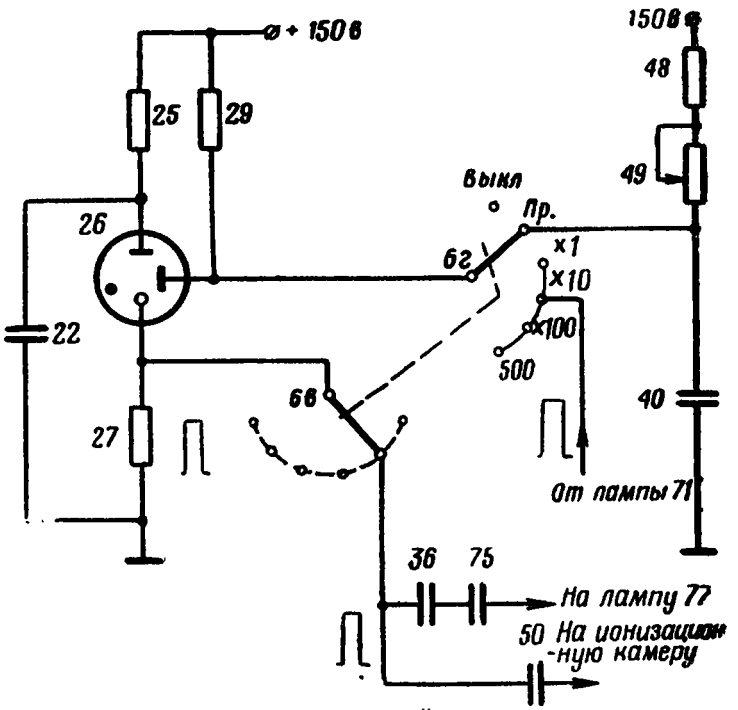


Рис. 164. Схема световой индикации рентгенметра ДП-3 в положении переключателя «Пр.»

сетки лампы *59*. Резисторы *63, 64, 65, 16, 17* и *18* выполнены проволочными, с отклонением от номиналов не более ±1%, что обеспечивает стабильность напряжения. В цепь ограничения запирающего импульса включен селеновый выпрямитель *37* для уменьшения времени восстановления напряжения на конденсаторе *36* при открытой лампе *71*. В этом случае разряд конденсатора *36* протекает по цепи: положительная пластина конденсатора *36*, контакт 7 колодки *56* и разъема *81*, лампа *71*, резистор *74*, корпус, диод *37*, отрицательная пластина конденсатора *36*.

Подсвет шкалы микроамперметра и указателя положений переключателя осуществляется лампой *8* постоянно при включенном приборе.

§ 8. Принципиальная схема рентгенметра ДП-3-Б

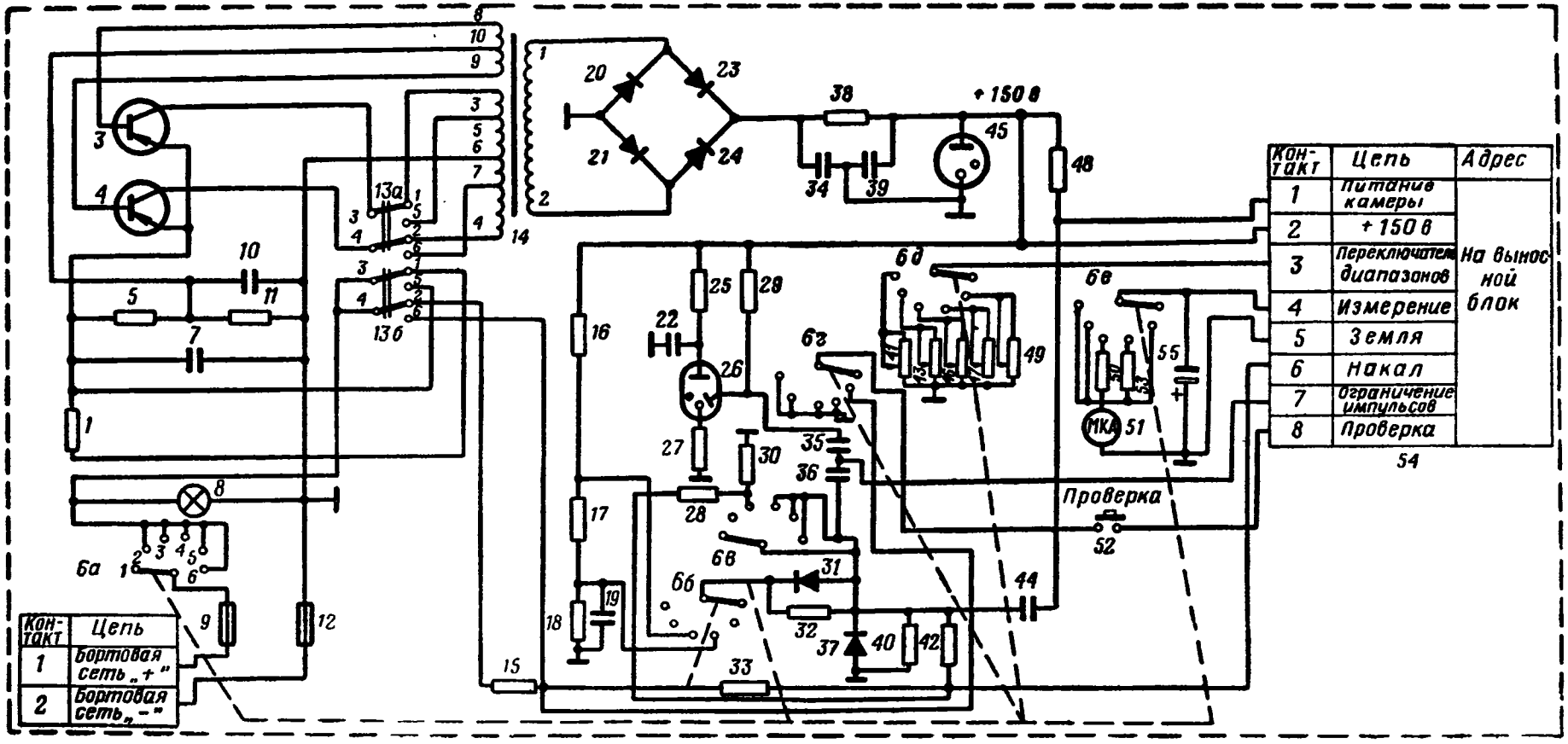
Физические процессы, протекающие в схеме рентгенметра ДП-3-Б (рис. 165), в положениях переключателя «×1», «×10», «×100» и «500» не отличаются от процессов, происходящих в схеме рентгенметра ДП-3 и рассмотренных в § 6 и 7. Исключение составляет работа схемы ДП-3-Б во втором положении переключателя — «Вкл.».

В рентгенметре ДП-3-Б по сравнению с рентгенметром ДП-3 произошла следующая модернизация. Поджигающий электрод тиратрона *26* отсоединен от переключателя *6г* и подключен непосредственно к конденсатору *35*, вывод проводника от резистора *27* к переключателю *6в* отключен; в положении переключателя «Вкл.» ветвь с микроамперметром в цепи интегрирующего контура не имеет резистора; введено реле *56* с нормально разомкнутой парой контактов; резистор *58* через нормально разомкнутые контакты реле *56* присоединен параллельно ионизационной камере; в цепь питания реле *56* включена нормально разомкнутая кнопка «Проверка» *52*; в колодке *54* и разъеме *82* добавлен 8-й контакт.

В положении переключателя «Вкл.» при нажатии на кнопку «Проверка» протекает ток питания обмотки реле *56*; путь тока: «+» бортовой сети, предохранитель *9*, переключатель *6а*, тумблер *13б*, резистор *15*, переключатель *6г*, кнопка *52*, контакт 8 колодки *54* и разъема *82*, обмотка реле *56*, корпус, предохранитель *12*, «—» бортовой сети. Реле, срабатывая, замыкает контакты 3—5; происходит разряд камеры *57* через высокомегомный резистор *58*, напряжение на электродах камеры падает, увеличивается потенциал 3-й сетки лампы *60*. Происходит первое опрокидывание схемы, в результате которого лампа *60* открывается, лампа *72* закрывается, лампа *78* открывается. Конденсатор *79* разряжается, заряжая конденсатор *55* интегрирующего контура.

При запирании лампы *72* положительный перепад напряжения подается через конденсатор *36* на дозарядку ионизационной камеры *57* и через конденсатор *35* на цепь световой индикации, запуская последнюю. По окончании действия положительного импульса на сетке лампы *78* происходит второе опрокидывание схемы, в результате которого лампа *72* открывается, лампы *60* и *78* закрываются. Схема возвращается в исходное состояние. Конденсатор *55* разряжается через микроамперметр, стрелка микроамперметра колеблется и вспыхивает лампа световой индикации.

Следует отметить, что в положении «Вкл.» при отжатой кнопке «Проверка» в приборе ДП-3-Б осуществляется регистрация ионизирующих излучений. В этом положении показания микроамперметра примерно соответствуют четвертому поддиапазону рентгенметра.


+150 в
Проверка
МКА
Кон-такт | Цепь | Адрес
1 | Питание камеры | На выносной блок
2 | +150 в
3 | Переключатель диапазонов
4 | Измерение
5 | Земля
6 | Накал
7 | Ограничение импульсов
8 | Проверка
54
Кон-такт | Цепь
1 | Бортовая сеть „+"
2 | Бортовая сеть „-"

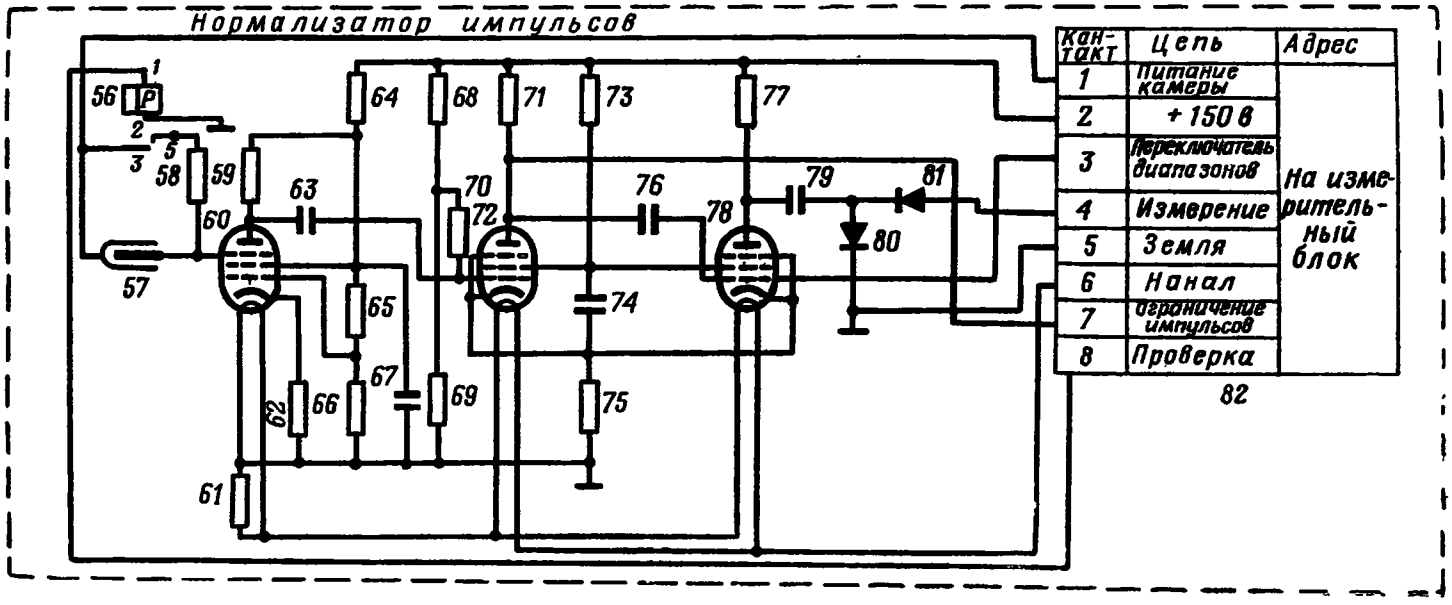


Рис. 165. Принципиальная схема рентгенметра ДП-3-Б

Глава VI

РАДИОМЕТР-РЕНТГЕНМЕТР ДП-5-А

§ 1. Назначение и технические данные прибора

Радиометр-рентгенметр ДП-5-А предназначен для обнаружения и измерения степени зараженности поверхностей бета- и гамма-активными веществами и измерения уровней гамма-радиации.

Диапазон измерений прибора — от 0,05 *мр/ч* до 200 *р/ч*; он разбит на шесть поддиапазонов: первый — от 5 до 200 *р/ч* (положение переключателя «200»), второй — от 500 до 5000 *мр/ч* (положение переключателя «×1000»), третий — от 50 до 500 *мр/ч* (положение переключателя «×100»), четвертый — от 5 до 50 *мр/ч* (положение переключателя «×10»), пятый — от 0,5 до 5 *мр/ч* (положение переключателя «×1»), шестой — от 0,05 до 0,5 *мр/ч* (положение переключателя «×0,1»). Относительная погрешность показаний прибора не превышает ±35%.

Прибор имеет звуковую индикацию на всех поддиапазонах, кроме первого. Время установления показаний прибора не превышает 45 *сек*. Прибор сохраняет работоспособность в интервале температур от —40° до +50° С и при относительной влажности 65 ± 15%.

Прибор питается от трех элементов 1,6-ПМЦ-У-1,05, обеспечивающих непрерывную работу прибора в течение 40 *ч*. Один из элементов питает схему подсвета шкалы электроизмерительного прибора. Прибор имеет аккумуляторную колодку для питания от внешних источников с напряжением 3; 6 и 12 *в*.

Вес рабочего комплекта 2 *кг*, полного комплекта в укладочном ящике 7,5 *кг*.

Время подготовки прибора к действию 4—5 *мин*.

§ 2. Общее устройство прибора

В состав комплекта прибора входят (рис. 166): пульт и зонд, соединенные гибким кабелем длиной 1,2 *м*, футляр, ремни для переноски прибора, контрольный радиоактивный препарат, удлинительная штанга, чехлы для зонда из полиэтиленовой пленки (10 шт.), аккумуляторная колодка с кабелем для подключения радиометра к внешнему источнику питания, запасное имущество и инструмент, техническая документация и укладочный ящик.

Корпус измерительного пульта выполнен из прессованного стекловолокна, обладающего высокой механической прочностью. На передней панели пульта размещены (рис. 167): электроизмерительный прибор, переключатель, регулятор «Режим», кнопка «Сброс», тумблер «Осв.», гнездо «Тлф.» и корректор нуля микроамперметра, закрытый пробкой. Элементы схемы монтируются на металлическом шасси, которое присоединяется к панели с помощью шар-

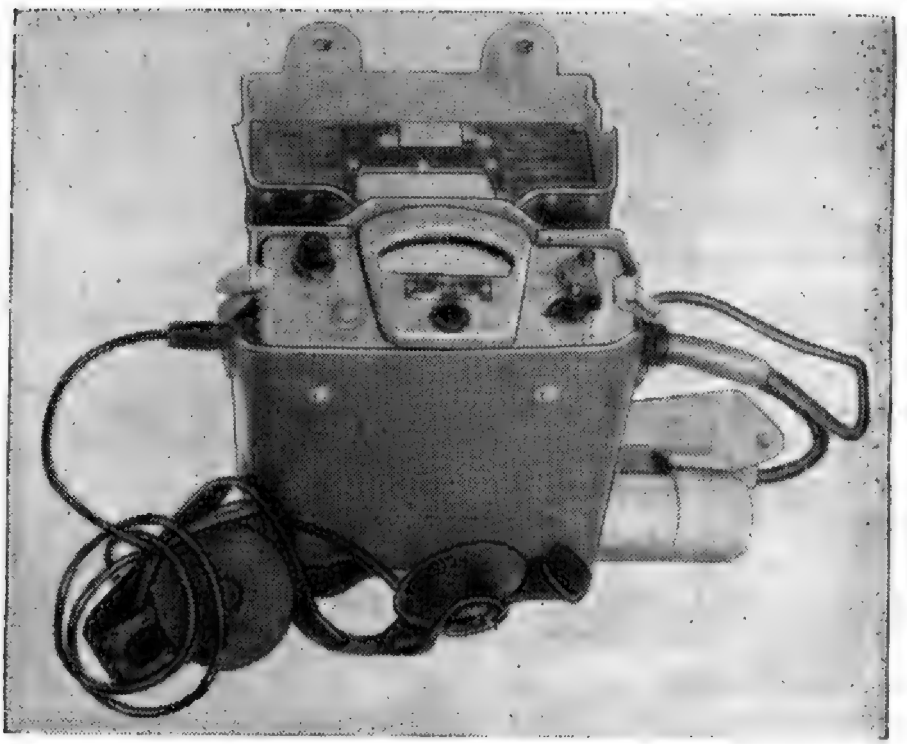


Рис. 166. Радиометр-рентгенметр ДП-5-А

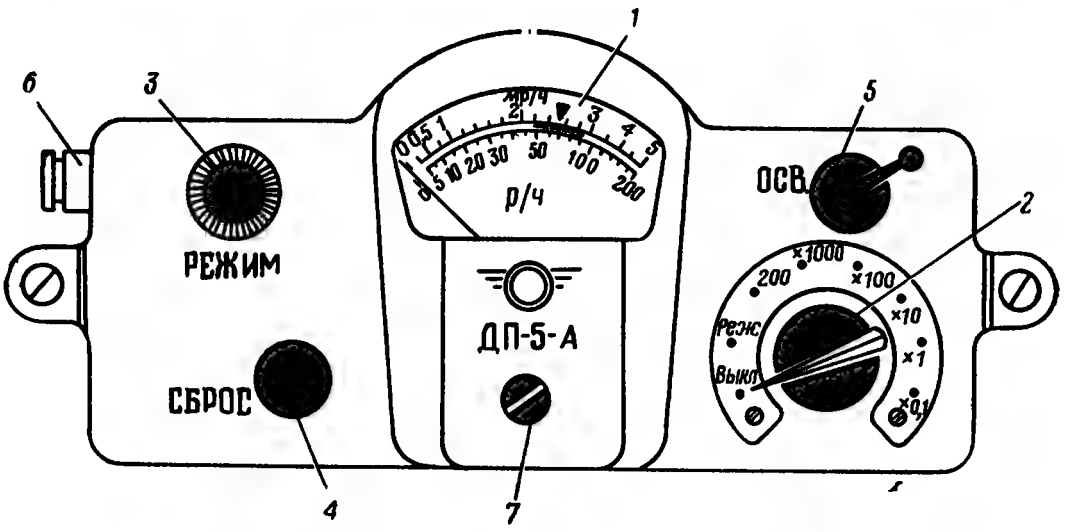


Рис. 167. Передняя панель радиометра-рентгенметра ДП-5-А:

1 — электроизмерительный прибор; *2* — ручка переключателя; *3* — ручка «Режим»; *4* — кнопка «Сброс»; *5* — тумблер освещения; *6* — гнезда для включения головных телефонов; *7* — корректор нуля микроамперметра

нира. В нижней части корпуса пульта находится отсек для трех элементов 1,6-ПМЦ-У-1,05; отсек закрывается крышкой с помощью четырех невыпадающих винтов.

Зонд (датчик) прибора состоит из корпуса и ручки с монтажной платой. Корпус зонда имеет цилиндрическую форму. Для обнаружения бета-излучений в нем есть пять окон, заклеенных этилцеллюлозной водонепроницаемой пленкой. Корпус закрывается поворотным латунным экраном, который в положении «Б» открывает

окна, а в положении «Г» закрывает их. Монтажная плата размещается внутри корпуса зонда и присоединяется к нему с помощью накидной гайки. Корпус имеет два выступа, которыми зонд ставится на исследуемую поверхность. Для удобства укладки зонд имеет съемную ручку.

К зонду придается удлинительная штанга, она облегчает работу с зондом. Для этого ручка зонда помещается в специальный обхват. Штанга раздвигается в пределах 450—720 *мм*. При переноске прибора штанга подвешивается к поясу оператора с помощью карабина или держателя.

Футляр прибора изготовлен из искусственной кожи. Он состоит из двух отсеков: для пульта и зонда. Пульт крепится в футляре двумя ремешками. В крышке футляра имеется окно из органического стекла для наблюдения за шкалой прибора при закрытой крышке. С внутренней стороны крышки прикреплены правила пользования прибором и бета-активный препарат, прикрытый металлической пластиной. К футляру присоединяются ремни для переноски прибора.

Аккумуляторная колодка в зависимости от положения двух перемычек позволяет подключить прибор для питания от внешнего источника постоянного тока. От колодки отходит кабель, оканчивающийся наконечниками, для подсоединения к клеммам аккумулятора.

Полный комплект прибора переносится и хранится в укладочном ящике.

§ 3. Подготовка прибора к действию

Подготовка радиометра-рентгенметра ДП-5-А к действию слагается из проверки комплекта, проведения внешнего осмотра его частей, подключения источников питания, установки режима питания и проверки работоспособности прибора на всех поддиапазонах.

При проверке комплекта и внешнем осмотре убеждаются в наличии и исправности принадлежностей. Затем проверяется четкость фиксации положений переключателя на пульте и экрана на зонде, осматривается радиоактивный препарат и пленка на зонде.

После этого подключаются источники питания (если они не были установлены) в таком порядке: элементы 1,6-ПМЦ-У-1,05 очищаются от парафиновой заливки; переключатель устанавливается в положение «Выкл.», пульт извлекается из футляра и вскрывается отсек питания; элементы вставляются в отсек питания с соблюдением полярности; крышка отсека питания закрывается и закрепляется винтами. При питании прибора от внешних источников элементы 1,6-ПМЦ-У-1,05 извлекаются и обе перемычки на аккумуляторной колодке устанавливаются в положение, соответствующее напряжению источника; колодка вставляется в отсек и крепится винтами; наконечники кабеля колодки присоединяются к источнику питания (аккумулятору).

Установка режима питания производится в положении переключателя «Режим». Ручкой регулятора «Режим» стрелка микроамперметра совмещается со серединой зачерненного сектора шкалы. Если в процессе работы при проверке режима стрелка выйдет влево за пределы сектора и установить режим невозможно, следует сменить источники питания.

Подготовка прибора к действию заканчивается проверкой его работоспособности на всех радиометрических поддиапазонах. Для этого прибор включается, экран зонда ставится в положение «Б», а зонд — упорами на крышку футляра так, чтобы препарат находился напротив окна (предварительно следует, вращая защитную пластину, открыть препарат). На поддиапазонах «×0,1» и «×1» стрелка микроамперметра должна отклониться до упора вправо, на поддиапазоне «×10» — примерно до середины шкалы, а на поддиапазонах «×100» и «×1000» может не отклоняться из-за недостаточной активности источника. В телефоне должны прослушиваться щелчки на всех поддиапазонах, кроме первого. По окончании проверки экран зонда установить в положение «Г» и зонд уложить в футляр.

§ 4. Работа с прибором

Измерение уровня гамма-радиации на местности производится на удалении 0,7—1 *м* от земли. Прибор подготавливается для переноски, зонд из футляра не извлекается, устанавливается режим питания прибора и проверяется его работоспособность. Переключатель ставится в положение «200». Результат отсчитывается по нижней шкале микроамперметра. Если показания прибора на этом поддиапазоне незначительны, следует перевести экран зонда в положение «Г», переключатель в положение «×1000» (при необходимости в положение «×100», «×10», «×1» или «×0,1»); в этих случаях отсчет производится по верхней шкале электроизмерительного прибора, отградуированной в миллирентгенах в час, и умножается на коэффициент поддиапазона.

Перед измерением степени зараженности поверхностей радиоактивными веществами определяется уровень гамма-фона. Для этого зонд располагается на высоте 0,7—1 *м* от земли и на расстоянии 15—20 *м* от исследуемого объекта.

Степень зараженности измеряется, если внешний гамма-фон не превышает предельно допустимого значения заражения объекта более чем в три раза. Для определения зараженности зонд подносится к исследуемой поверхности. Из полученного значения вычитается величина гамма-фона.

Обнаружение бета-излучений производится так. Прибор готовится к работе, зонд располагается в 1—2 *см* от зараженной поверхности и производится два замера — в положениях экрана зонда «Г» и «Б». Разность результатов измерений указывает на наличие бета-излучений.

§ 5. Принцип работы прибора

В исходном состоянии схемы при включении питания происходит заряд дозирующего конденсатора *21* (рис. 168) через резистор *20*. Конденсатор заряжается до напряжения *U*. Это напряжение прикладывается к участку анод — катод тиратрона *12* плюсом на анод, минусом через интегрирующий контур на катод. Конденсатор *19* интегрирующего контура разряжен, стрелка микроамперметра стоит на нуле.

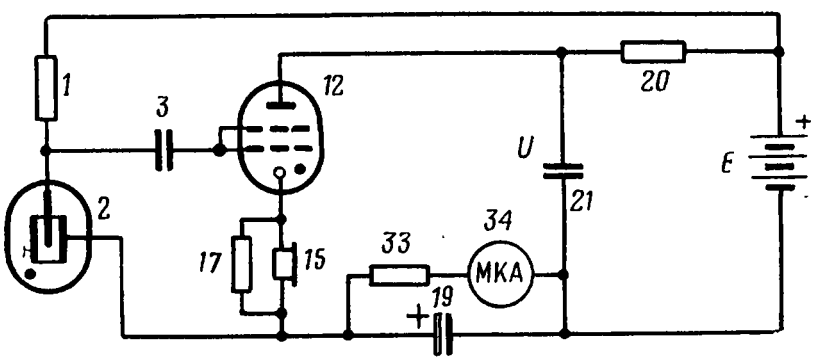


Рис. 168. Упрощенная схема радиометра-рентгенметра ДП-5-А (в радиометрическом режиме)

При воздействии ионизирующих излучений на газоразрядный счетчик *2* в его цепи (плюс источника *E*, резистор *1*, газоразрядный счетчик *2*, интегрирующий контур, минус источника *E*) возникают импульсы ионизационного тока. Эти импульсы тока создают на резисторе *1* падение напряжения, которое прикладывается через конденсатор *3* к участку сетка — катод тиратрона *12*. Увеличение разности потенциалов между этими электродами тиратрона приводит к его пробою на этом участке и на участке анод — катод. Заряженный до этого дозирующий конденсатор *21* разряжается по цепи: тиратрон *12*, резистор *17*, конденсатор *19*, передавая свой заряд конденсатору *19* интегрирующего контура. По мере разряда конденсатора *21* напряжение на нем уменьшается и наступает момент, когда оно становится меньше напряжения гашения тиратрона. Газовый разряд в тиратроне прекращается, цепь разряда конденсатора *21* прерывается и начинается восстановление его заряда через резистор *20*. Конденсатор *19* интегрирующего контура разряжается через резистор *33* и микроамперметр. Чем выше уровень радиации, тем больше частота импульсов в цепи газоразрядного счетчика, тем чаще срабатывает тиратронная схема и до большей величины напряжения заряжается конденсатор интегрирующего контура и тем больше ток его разряда и отклонение стрелки микроамперметра. Показания прибора пропорциональны измеряемому уровню радиации.

§ 6. Принципиальная схема радиометра-рентгенметра ДП-5-А

Принципиальная схема прибора включает следующие основные узлы (рис. 169): детекторы бета- и гамма-излучения, усилитель — нормализатор, интегрирующий контур с микроамперметром, преобразователь напряжения, источники питания, переключатель.

В **исходном состоянии схемы** производится установка рабочего режима питания. При включении питания напряжение от двух последовательно соединенных элементов *55* прикладывается к преобразователю.

Преобразователь напряжения имеет следующие детали: транзистор *54*, диод *50*, трансформатор *51*, резисторы *37*, *44*, *48* и *49*, конденсаторы *45*, *47* и *52*, стабилитрон *36*. На выходе преобразователя с конденсатора *47* снимается нестабилизированное постоянное напряжение 400 *в*, а с конденсатора *45* — стабилизированное напряжение 390 *в*. Величину этих напряжений можно изменять резистором *48* «Режим», который включен в цепь базы транзистора.

Для контроля величины напряжения на выходе преобразователя служит микроамперметр с шунтом — резистором *37*. Ток стабилизации, проходя через параллельно соединенные микроамперметр и резистор *37*, отклоняет стрелку микроамперметра на середину зачерненного сектора шкалы прибора при правильной установке движка резистора *48*.

Рентгенметрический режим (положения переключателя «200» и «×1000»). В положении переключателя «200» (рис. 170) работает схема измерения уровней радиации от 5 до 200 *р/ч*. Стабилизированное напряжение 390 *в* с конденсатора *45* прикладывается плюсом через переключатель *18г* (рис. 169) и резистор *31* (рис. 170) к нити газоразрядного счетчика СИ-3БГ *32* и минусом через корпус и интегрирующий контур к катоду счетчика. Конденсатор *19* интегрирующего контура разряжен, стрелка микроамперметра совмещена с нулем шкалы.

При воздействии гамма-излучения в цепи газоразрядного счетчика *32* возникают импульсы тока, частота которых определяется уровнем радиации в той точке пространства, где находится пульт прибора (счетчик *32* расположен в пульте). Импульсы тока, протекая по цепи: положительно заряженная пластина конденсатора *45*, переключатель *18г* (рис. 169), резистор *31* (рис. 170), счетчик *32*, конденсатор *19*, корпус, отрицательная пластина конденсатора *45*, заряжают конденсатор *19* интегрирующего контура. Одновременно происходит разряд конденсатора *19* через резисторы *33*, *26*, *38* и микроамперметр.

Резистор *38* используется при градуировке прибора.

В положении переключателя «×1000» (рис. 171) схема измеряет уровни радиации от 0,5 до 5 *р/ч*. Стабилизированное напряжение с конденсатора *45* подается на газоразрядный счетчик СИ-3БГ *5*. Одновременно происходит заряд конденсатора *25* через рези-

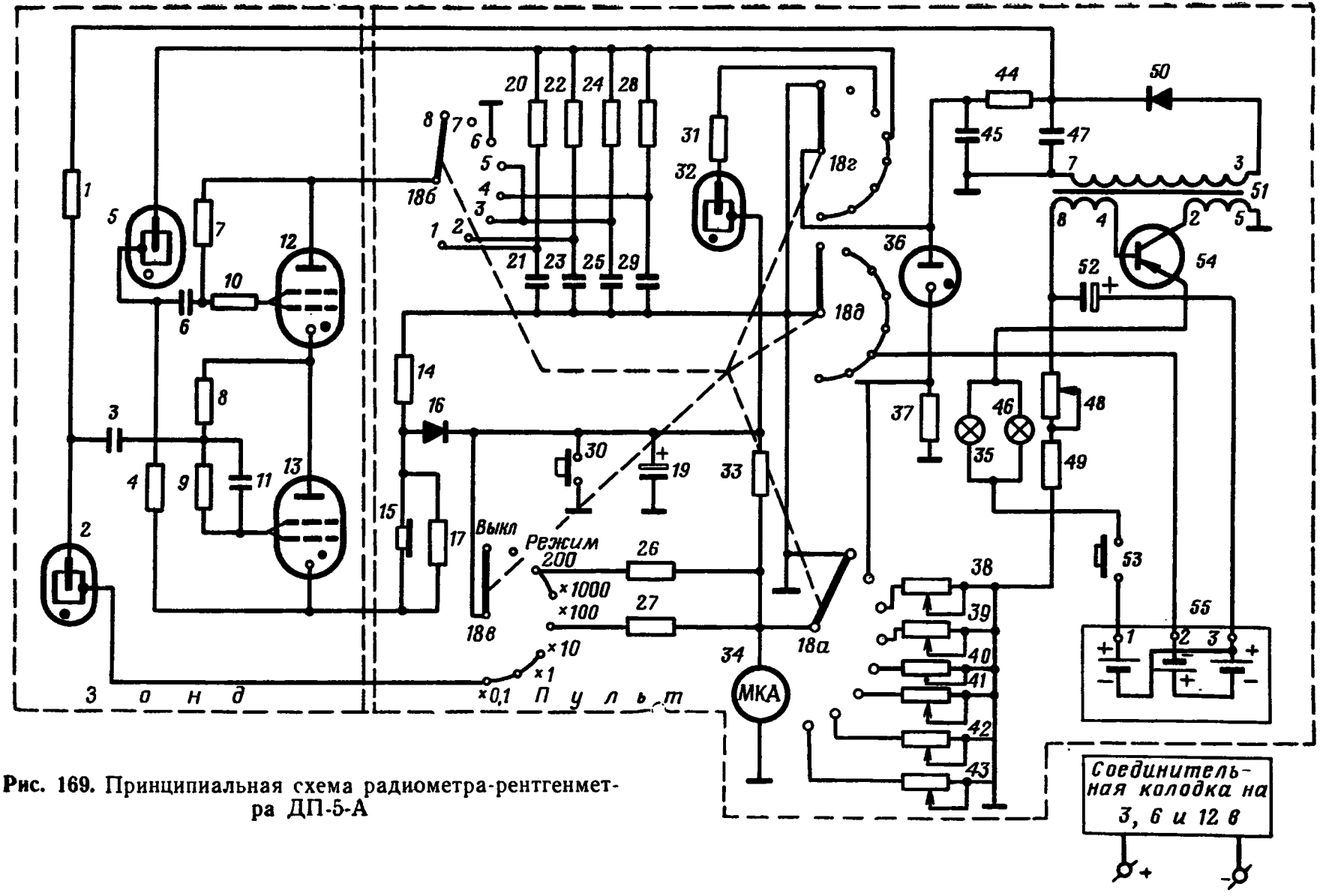


Рис. 169. Принципиальная схема радиометра-рентгенметра ДП-5-А

стор *24*. С дозирующего конденсатора *25* напряжение прикладывается к двум последовательно соединенным тиратронам ТХ-4Б *12* и *13*. Пока напряжение на сетки тиратронов не подается, в их цепи проходит начальный ток, равный 1—2 *мка*. Для того чтобы этот ток не вызывал заметного отклонения стрелки микроамперметра, в схему введены резистор *14* и диод *16* типа АВС-1-30М. Величина сопротивления этого диода при незначительном напряжении на его электродах в несколько раз превосходит сопротивление резистора *14*. Поэтому начальный ток проходит главным образом через резистор *14*, ток через микроамперметр будет ничтожно мал. Конденсатор *19* разряжен, и стрелка микроамперметра стоит на нуле.

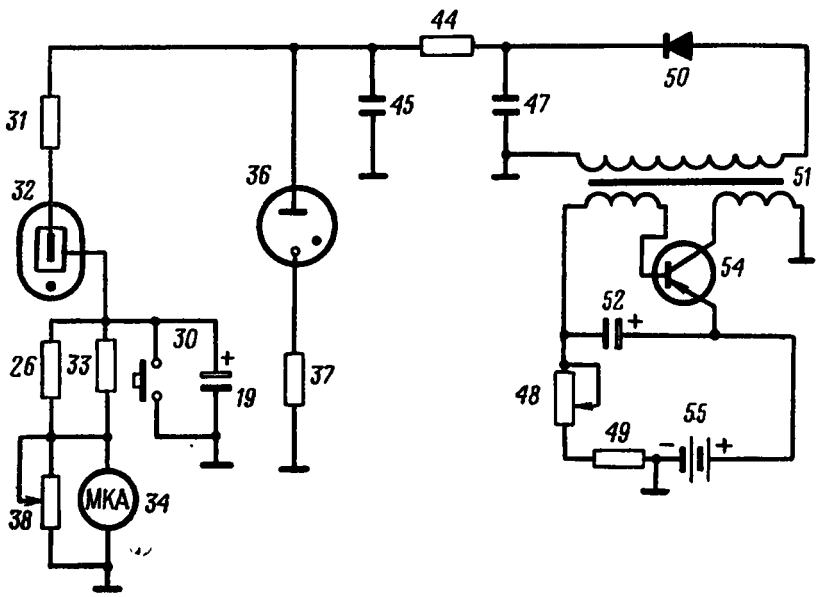


Рис. 170. Упрощенная схема радиометра-рентгенметра ДП-5-А в положении переключателя «200»

При воздействии гамма-излучений на газоразрядный счетчик *5* протекает импульсный ионизационный ток по цепи: положительная пластина конденсатора *45*, счетчик *5*, резисторы *4*, *17* и *14*, отрицательная пластина конденсатора *45*. На резисторе *4* создаются импульсы напряжения, которые прикладываются плюсом через конденсатор *6* и резистор *10* к сетке тиратрона *12*, а минусом — через участок сетка — катод тиратрона *13*, конденсатор *11*, резистор *8* к катоду тиратрона *12*. Происходит пробой тиратрона *12*. Напряжение на аноде тиратрона *13* при этом повышается, и тиратрон *13* также пробивается. Дозирующий конденсатор *25* разряжается через токопроводящие тиратроны *12* и *13*, резистор *17*, диод *16*, конденсатор *19* интегрирующего контура, передавая последнему значительную часть своего заряда.

По мере разряда дозирующего конденсатора *25* напряжение на нем уменьшается; когда это напряжение становится меньше напряжения гашения тиратронов *12* и *13*, последние гаснут и разряд конденсатора прекращается. Начинается восстановление заряда

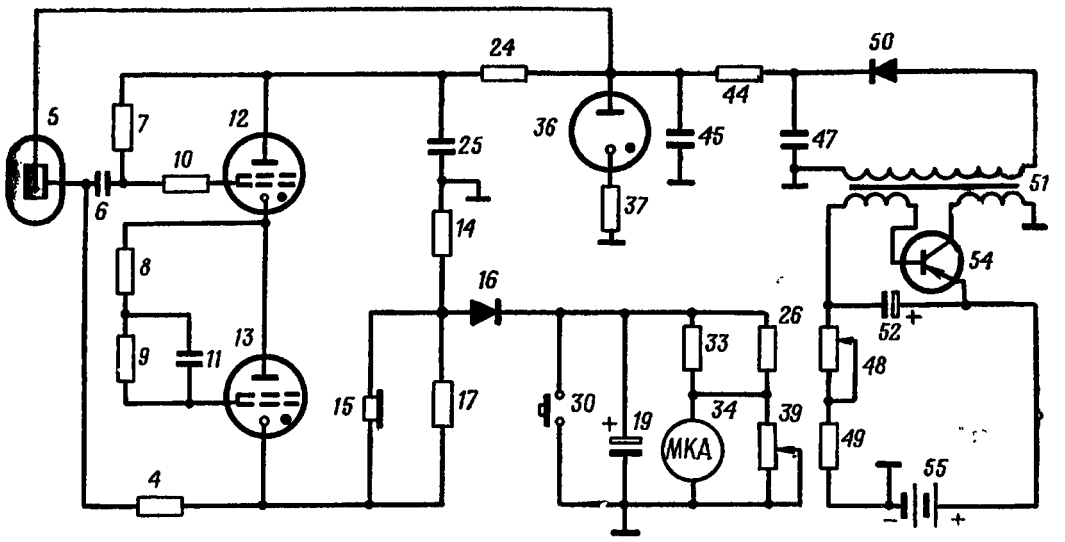


Рис. 171. Упрощенная схема радиометра-рентгенметра ДП-5-А в положении переключателя «×1000»

конденсатора *25* от источника через резистор *24*. По окончании этого процесса схема готова к регистрации следующего импульса. Заряженный конденсатор *19* интегрирующего контура разряжается через резисторы *33*, *26* и микроамперметр, шунтированный резистором *39*.

Резистор *39* служит для градуировки прибора на данном поддиапазоне.

Радиометрический режим. Радиометрический режим работы прибора начинается с поддиапазона «×100». В этом положении переключателя прибором измеряется степень зараженности от 50 до 500 *мр/ч*. Процессы в схеме аналогичны описанным выше, с той лишь разницей, что меняются дозирующая цепь (резистор *28* (рис. 169) и конденсатор *29*) и сопротивление интегрирующего контура (параллельно соединенные резисторы *33* и *27*), а микроамперметр шунтируется резистором *41*, предназначенным для градуировки прибора на этом поддиапазоне измерений.

В положении переключателя «×10» (рис. 172) кроме газоразрядного счетчика СИ-3БГ *5* на входе тиратронной схемы включен чувствительный счетчик СТС-5 *2*. При малых значениях степени зараженности число импульсов, возникающих в цепи счетчика СИ-3БГ, ничтожно мало и ток в интегрирующем контуре определяется частотой импульсов, снимаемых со счетчика СТС-5. При больших степенях зараженности возрастает частота следования импульсов в цепи счетчика СТС-5. Напряжение на этом счетчике не успевает полностью восстановиться, и амплитуда резко падает, не обеспечивая срабатывания схемы нормализатора. Амплитуда импульсов в цепи счетчика СИ-3БГ достаточна для работы схемы. Таким образом, благодаря совместной работе счетчиков СТС-5 и СИ-3БГ обеспечивается плавное перекрытие измерений на поддиапазоне «×10» (аналогично и на поддиапазонах «×1» и «×0,1»).

Исходное состояние схемы при включении питания и отсутствии ионизирующих излучений не отличается от описанного ранее, но при этом с конденсатора *47* на электроды газоразрядного счетчика СТС-5 *2* прикладывается напряжение 400 *в*. Воздействие излучений на счетчик СИ-3БГ и СТС-5 вызывает появление в их цепях импульсов ионизационного тока. Созданные на резисторе *1* импульсы напряжения прикладываются к участку сетка — катод тиратрона *13*: минусом через конденсаторы *3* и *11* на сетку тиратрона.

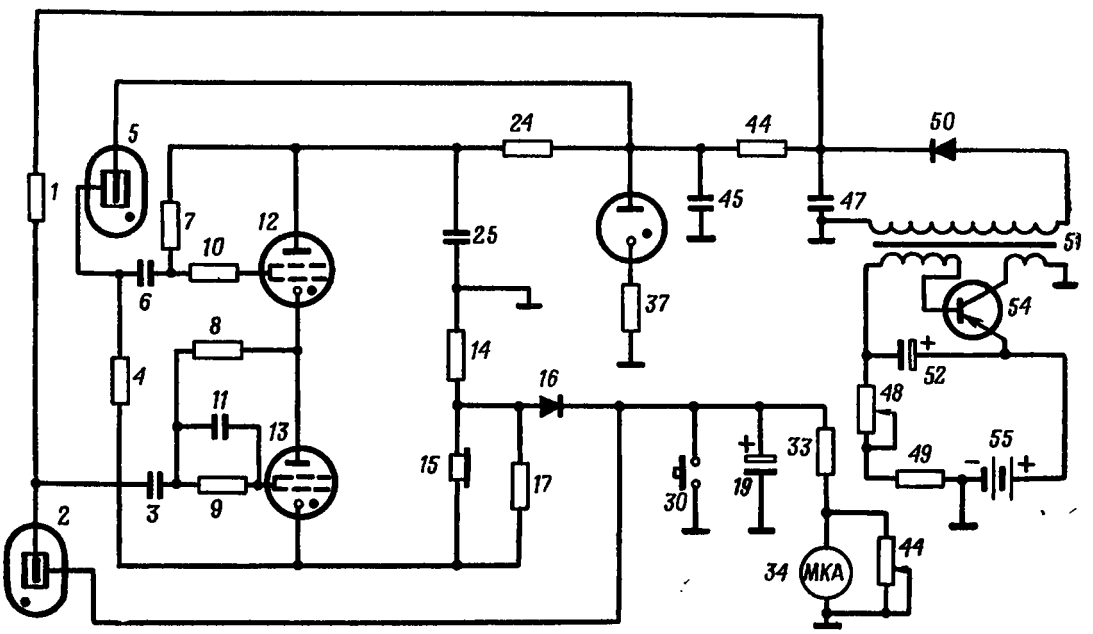


Рис. 172. Упрощенная схема радиометра-рентгенметра ДП-5-А в положении переключателя «×10»

Происходит пробой участка сетка — катод, а затем и участка анод — катод этого тиратрона. Сопротивление между анодом и катодом тиратрона *13* резко уменьшается, что приводит к увеличению напряжения между анодом и катодом тиратрона *12*, вследствие чего и этот тиратрон пробивается.

Процессы, происходящие при подаче импульсов напряжения с нагрузочного резистора *4* на сетку тиратрона *12* при работе счетчика СИ-3БГ *5*, были описаны выше. Как и в предыдущих случаях, работа в положении переключателя «×1» и «×0,1» отличается только включением других дозирующих цепей (резистор *22* (рис. 169) — конденсатор *23*, резистор *20* — конденсатор *21*) и резисторов *42* и *43*, предназначенных для градуировки прибора.

Особенности схемы. Рассматриваемая схема прибора работает в широком диапазоне измерений. Возможность производства таких измерений микроамперметром с небольшим пределом измерения тока достигается путем изменения длительности импульсов, поступающих на интегрирующий контур.

При малых уровнях радиации частота поступающих на интегрирующий контур импульсов невелика. Чтобы обеспечить достаточный заряд конденсатора *19* (рис. 169) и тем самым наибольшую чувствительность схемы, должен быть обеспечен большой заряд, приносимый импульсом. Это достигается использованием на поддиапазоне «×0,1» конденсатора *21*, имеющего большую емкость и большую постоянную времени разряда. С увеличением уровня радиации частота импульсов увеличивается и для обеспечения соответствующего заряда конденсатора *19* длительность импульса может быть уменьшена, что обеспечивается уменьшением емкости конденсаторов *23*, *25* и *29*. Вследствие того что импульсы тока, возникающие при пробое тиратронов *12* и *13*, по величине во много раз превышают ток в газоразрядном счетчике, чувствительность прибора повышается.

В приборе предусмотрена звуковая индикация. При протекании импульсов тока через резистор *17* на нем создается падение напряжения. Это напряжение подается на телефон, включенный в гнездо *15*. По частоте щелчков в телефоне можно ориентировочно оценить уровень радиации.

Для поддержания напряжения на выходе преобразователя постоянным используется стабилитрон СГ-301 с рабочим напряжением 390 *в*. Рабочее напряжение тиратрона ТХ-4Б 200 *в*, поэтому в данную схему включены последовательно два тиратрона ТХ-4Б.

На переднюю панель прибора выведена кнопка «Сброс» *30*. Нажатая кнопка практически мгновенно разряжает конденсатор *19* интегрирующего контура, что вызывает установку стрелки микроамперметра на нуль и позволяет быстро перейти от одних измерений к другим.

§ 7. Радиометр-рентгенметр ДП-5

В отличие от прибора ДП-5-А в приборе раннего выпуска ДП-5 переключатель имеет следующие положения: «Выкл.», «Режим», «200», «5», «0,5», «×1000», «×100», «×10» и «×1». Принципиальных отличий в схемах этих приборов нет.

Уровни радиации прибором ДП-5 измеряются по нижней и средней шкалам («200», «5» и «0,5»), измерение ведется в рентгенах в час. При определении степени зараженности поверхностей на поддиапазонах «×100», «×10» и «×1» используются градуировочные графики, помещенные в описании прибора; измерение осуществляется в миллирентгенах в час. На поддиапазоне «×1000» определяется степень зараженности поверхностей в β-распадах в минуту на квадратный сантиметр, измерение производится в положении Б экрана на зонде, отсчет ведется по верхней шкале (с умножением показаний прибора на 1000).

Глава VII

БЕТА-ГАММА-РАДИОМЕТР ДП-12

§ 1. Назначение и технические данные прибора

Бета-гамма-радиометр ДП-12 предназначен для измерения степени зараженности радиоактивными веществами различных предметов. Им можно измерять малые уровни гамма-радиации.

Диапазон измерения прибора: по бета-излучению — от 1000 до 5 000 000 *расп/мин · см*^{2}, по гамма-излучению — от 1 до 125 *мр/ч*. Поскольку в практике войсковых измерений степень зараженности определяется в миллирентгенах в час, прибор используется лишь в диапазоне от 1 до 125 *мр/ч*.

Относительная погрешность измерений ±50%. Радиометр работоспособен при температуре от —40 до +50° С и относительной влажности 65 ± 15%. Продолжительность работы источников питания (два элемента 1,6-ПМЦ-У-8) 75 *ч*.

Вес прибора 4,5 *кг*, вес комплекта 8,5 *кг*.

Время подготовки прибора к действию 4—6 *мин*.

§ 2. Общее устройство прибора

В комплект прибора входят (рис. 173): измерительный пульт и зонд, соединенные кабелем, головные телефоны, радиоактивный препарат, переносной ремень, запасное имущество и принадлежно-

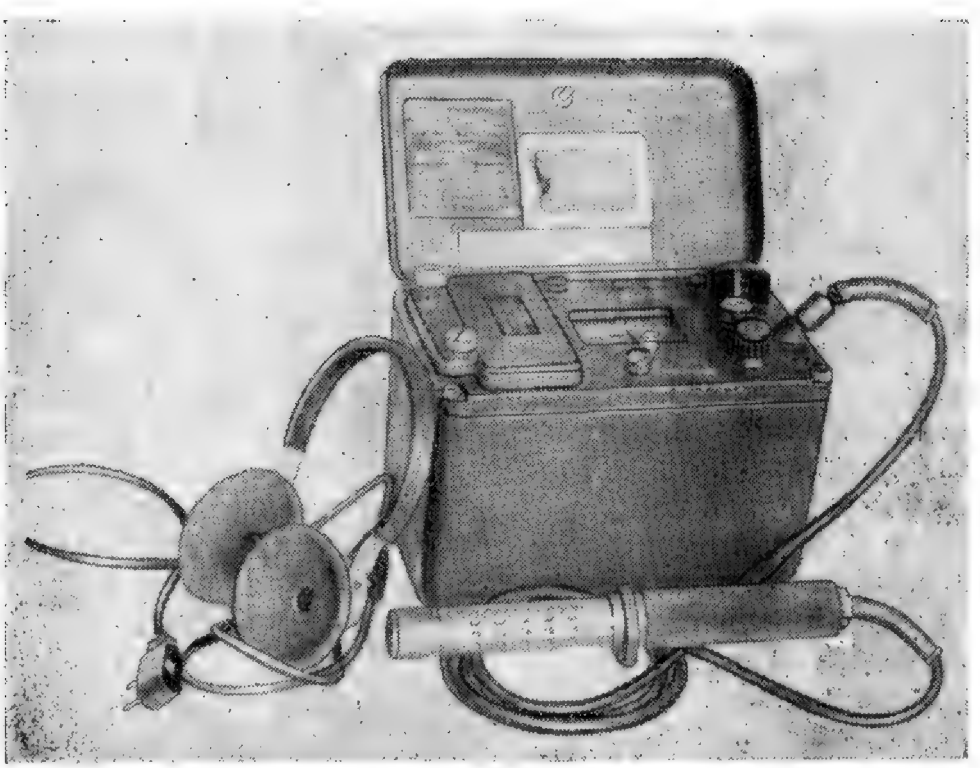


Рис. 173. Бета-гамма-радиометр ДП-12

сти, техническая документация, удлинительная штанга и держатель.

Электрическая схема радиометра собрана в измерительном пульте и зонде.

На передней панели пульта прибора расположены (рис. 174): электроизмерительный прибор со сменными шкалами, переключатель, ручка регулятора напряжения накального «Накал» и анодного «Анод», гнезда для включения головных телефонов «ТЛФ», кнопка включения освещения шкалы «Осв.», поворотная стрелка, отсек питания с крышкой.

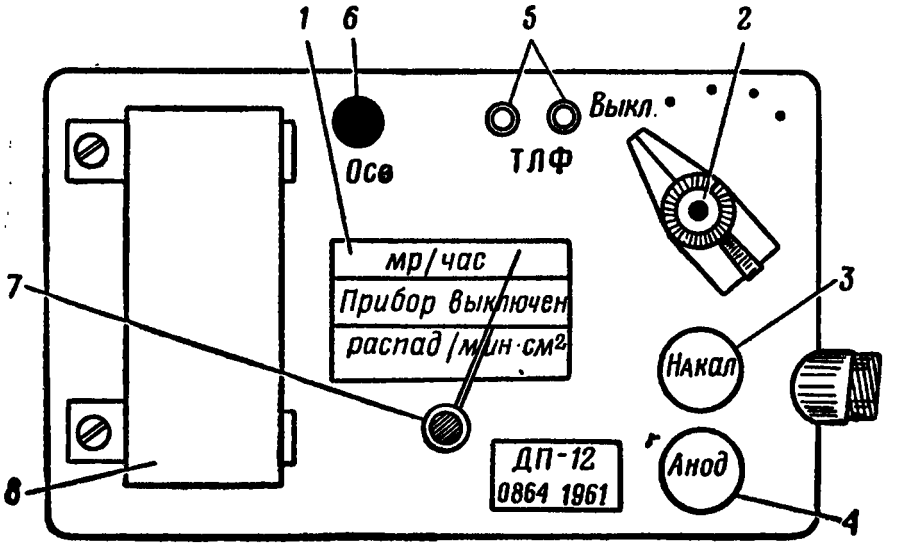


Рис. 174. Передняя панель бета-гамма-радиометра ДП-12:
1 — электроизмерительный прибор; *2* — ручка переключателя; *3* — ручка регулятора «Накал»; *4* — ручка регулятора «Анод»; *5* — гнезда для включения головных телефонов; *6* — кнопка освещения; *7* — поворотная стрелка; *8* — отсек питания

Электроизмерительный прибор имеет пять прямопоказывающих измерительных шкал. Для удобства они окрашены в различные цвета. Черная и красная шкалы — однорядные, предназначены для измерения степени зараженности в *расп/мин · см²*; синяя, зеленая и белая шкалы — двухрядные, верхний ряд шкал предназначен для измерения степени зараженности в *мр/ч*, нижний — для измерения степени зараженности в *расп/мин · см²*.

В табл. 8 приведены пределы измерения прибором степени зараженности поверхностей, а также время установления показаний.

Электрическая схема пульта прибора смонтирована с внутренней стороны передней панели. Передняя панель прикрыта защитной крышкой, в которой имеется смотровое окно. С внутренней стороны крышки прикреплены краткие правила пользования прибором. Передняя панель крепится на корпусе четырьмя винтами.

Источники питания помещены в специальном отсеке, имеющем крышку с двумя винтами для крепления. Внутри отсека находятся плата для присоединения выводов элемента и тумблер, переключающий элементы в положение «Пар.» (параллельно) или «Посл.» (последовательно). Если элементы свежие, ручка тумблера ставится

Таблица 8

ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИБОРОМ ДП-12 СТЕПЕНИ ЗАРАЖЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ВРЕМЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ПОКАЗАНИЙ

Положение переключателя	Положение головки зонда	Пределы измерения, *мр/ч*	Время показаний прибора, *сек*		
			установления	наблюдения	полного замера
Синяя шкала	«Г»	20—125	6	4	10
Зеленая шкала	«Г»	5—20	10	10	20
Белая шкала	«Г»	1—5	20	60	80

в положение «Пар.», если частично разряжены — в положение «Посл.».

Измерительный зонд состоит из ручки и головки, внутри которой расположен газоразрядный счетчик СТС-5. Счетчик закрыт двумя экранами: внутренним (неподвижным) и внешним (подвижным). Внешний экран может быть установлен в трех положениях: «$Б_1$» — для измерения слабой бета-зараженности, «$Б_2$» — для измерения сильной бета-зараженности и «Г» — для измерения небольших уровней гамма-радиации.

Для удобства измерений используется удлинительная штанга, к которой крепится зонд с помощью держателя.

§ 3. Подготовка прибора к действию

Подготовка радиометра ДП-12 к действию начинается с внешнего осмотра и проверки комплектности. Проверяется четкость фиксации положений переключателя, плавность вращения ручек регуляторов «Накал» и «Анод», работа кнопки «Осв.». Ручки «Накал» и «Анод» нажимаются и выводятся против часовой стрелки до упора. На корпусе прибора не должно быть нарушений лакокрасочных покрытий, вмятин. Затем элементы вынимаются из отсека питания, и отсек протирается ветошью. Осматривается электроизмерительный прибор, его стрелка должна находиться на нуле шкалы. Особенно тщательно проверяется целостность защитных оболочек головки зонда и радиоактивного препарата.

Электрические регулировки прибора начинаются с установки напряжения накала. Для этого переключатель из крайнего левого положения «Выкл.» переводится вправо; нажимается ручка «Накал». Стрелка измерительного прибора должна установиться на индекс «Р» (режим) на шкале микроамперметра; при отклонении стрелки от индекса она помещается на индекс поворотом ручки «Накал». После этого контролируется анодное напряжение; нажимается ручка «Анод». Стрелка электроизмерительного прибора дол-

жна находиться на индексе «Р»; если этого нет, стрелка устанавливается на индекс поворотом ручки «Анод».

Окончание подготовки прибора связано с проверкой его работоспособности. Для этого экран зонда помещается в положении «$Б_1$»; радиоактивный контрольный препарат, соблюдая совпадение рисок, прикладывается к головке зонда. При этом должны быть слышны характерные щелчки в головных телефонах, а стрелка измерительного прибора должна отклониться от нуля на число делений, указанное в техническом формуляре прибора.

§ 4. Работа с прибором

До начала обследования зараженности боевой техники или личного состава определяется уровень гамма-фона на местности, предназначенной для проведения контроля радиоактивного заражения. Для этого экран зонда устанавливается в положение «Г», а зонд на расстоянии 0,7—1 *м* от земли и 15—20 *м* и от измеряемого объекта. По верхнему ряду делений одной из шкал (синей, зеленой, белой) определяется значение фона (в *мр/ч*).

Показания со шкалы измерительного прибора снимаются по истечении времени полного замера, выраженного в секундах. Время полного замера складывается из времени установления показаний электроизмерительного прибора и времени наблюдения. Время установления показаний — это время, в течение которого стрелка измерительного прибора устанавливается в определенное положение. В течение времени наблюдения оператор определяет минимальное и максимальное отклонение стрелки измерительного прибора и вычисляет среднее значение, которое и является искомой величиной.

Измеренная величина гамма-фона запоминается или записывается. Она не должна превышать утроенного значения предельно допустимой нормы зараженности обследуемого объекта. При бóльших величинах контроль радиоактивного заражения на данной местности проводить нельзя.

Затем головка зонда в положении «Г» подносится к объекту и располагается над поверхностью на высоте упоров. Производится отсчет в миллирентгенах в час. Из этого значения вычитается гамма-фон. Полученный результат и есть степень зараженности объекта.

Как правило, измерения начинаются с синей шкалы, т. е. с максимального поддиапазона. При отсутствии показаний переключатель переводится на зеленую или белую шкалу. Последняя шкала принадлежит самому чувствительному поддиапазону.

§ 5. Принцип действия и упрощенная схема прибора ДП-12

Воздействие ионизирующих излучений на газоразрядный счетчик вызывает в его цепи кратковременные импульсы электрического тока. Импульсы подсчитываются с помощью интегрирующего кон-

тура. Однако достаточно строгая пропорциональность между показанием микроамперметра и средней частотой следования импульсов имеет место при условии постоянства электрического заряда, приходящегося на каждый импульс. Кроме того, величина электрического заряда должна быть достаточной для создания такого тока, который можно было бы измерить микроамперметром.

Импульсы, возникающие в цепи счетчика, имеют различные амплитуды и длительности. Для выравнивания импульсов по амплитуде и длительности, а также для их усиления в схеме использован нормализатор импульсов. Импульсы, откалиброванные и усиленные нормализатором, поступают на интегрирующий контур, в котором импульсный ток преобразуется в постоянный, пропорциональный уровню радиации. В одну из цепей нормализатора присоединены головные телефоны, позволяющие по частоте щелчков оценивать степень зараженности.

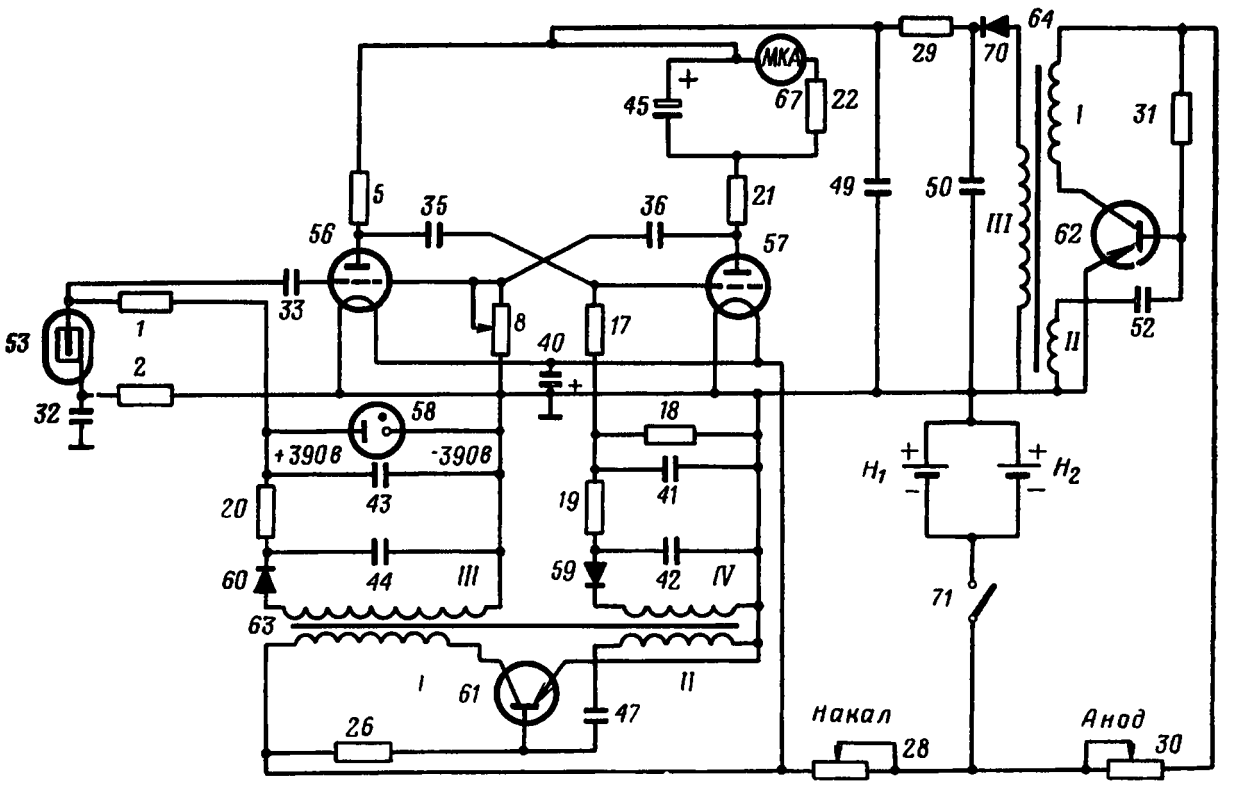


Рис. 175. Упрощенная схема бета-гамма-радиометра ДП-12

Упрощенная схема бета-гамма-радиометра ДП-12 (рис. 175) соответствует полной принципиальной схеме прибора в положении «1» (белая шкала) переключателя. На схеме показаны детали, определяющие принцип работы прибора. Для упрощения исключен переключатель, а лампы-пентоды заменены триодами. Несмотря на это, физические процессы, рассматриваемые по упрощенной схеме, полностью соответствуют работе радиометра.

Источниками питания прибора служат два элемента 1,6-ПМЦ-У-8, соединенные параллельно или последовательно (после

частичного разряда). Элементы питают цепь накала ламп и два преобразователя постоянного напряжения.

Первый преобразователь собран на транзисторе П201 *61*. Другими деталями этого преобразователя являются: трансформатор *63*, селеновые столбики *59* и *60*, резисторы *18, 19, 20* и *26*, конденсаторы *41, 42, 43, 44* и *47*, стабилитрон *58*. С выхода преобразователя снимаются два напряжения: со стабилитрона *58* — 390 *в* для питания газоразрядного счетчика *53* и с конденсатора *41* — 10 *в* для питания цепи смещения лампы *57*.

Второй преобразователь включает транзистор *62*, трансформатор *64*, селеновый столбик *70*, резисторы *29* и *31*, конденсаторы *49*, *50* и *52*. Он питает анодные цепи ламп *56* и *57* напряжением 60 *в*, снимаемым с конденсатора *49*.

Чувствительным элементом схемы является газоразрядный счетчик СТС-5 *53*, включенный на вход нормализатора. Нормализатор собран на двух лампах-пентодах *56* и *57* типа 1П4Б (на схеме изображены триоды).

При отсутствии ионизирующих излучений и включенном питании схемы лампа *56* открыта, так как напряжение на ее управляющей сетке равно нулю. Лампа *57* заперта: на ее сетку приложено напряжение минус 10 *в*. Конденсатор *45* интегрирующего контура разряжен, стрелка микроамперметра находится на нуле.

Воздействие ионизирующих излучений на газоразрядный счетчик *53* приводит к возникновению в его объеме кратковременного газового разряда; напряжение на аноде счетчика уменьшается. Ранее заряженный конденсатор *33* разряжается по цепи: положительная пластина конденсатора, счетчик *53*, резисторы *2* и *8*, отрицательная пластина конденсатора. На резисторе *8* создается импульс напряжения отрицательный со стороны управляющей сетки, его величина достаточна для запирания лампы *56*.

С закрытием лампы *56* заряжается конденсатор *35*. Ток заряда протекает по цепи: положительная пластина конденсатора *49*, резистор *5*, конденсатор *35*, резисторы *17* и *18*, отрицательная пластина конденсатора *49*. Ток создает на резисторах *17* и *18* падение напряжения, положительное со стороны управляющей сетки лампы *57*. Лампа *57* открывается. Конденсатор *36* разряжается через открытую лампу *57;* путь тока разряда: положительная пластина конденсатора, лампа *57*, резистор *8*, отрицательная пластина конденсатора. Падение напряжения на резисторе *8* поддерживает лампу *56* в запертом состоянии. Протекает ток заряда конденсатора *45* интегрирующего контура по цепи: положительная пластина конденсатора *49*, конденсатор *45*, резистор *21*, участок анод — катод лампы *57*, отрицательная пластина конденсатора *49*.

Такое состояние схемы не является устойчивым. По мере заряда конденсатора *35* сила тока и падение напряжения на резисторах *17* и *18* уменьшаются. Точно также при снижении тока разряда конденсатора *36* уменьшается отрицательный потенциал на управляющей сетке лампы *56*. Параметры конденсаторов *35* и *36*, резисто-

ров *8*, *17* и *18* подобраны такими, что время нахождения нормализатора в неустойчивом состоянии определяется постоянной времени цепи разряда конденсатора *36*.

В момент прекращения тока разряда конденсатора *36* напряжение на сетке лампы *56* станет равным нулю. Лампа *56* откроется, конденсатор *35* начнет разряжаться. Падение напряжения на резисторах *17* и *18*, созданное током заряда конденсатора *35*, приведет к запиранию лампы *57*. Конденсатор *45* разрядится через микроамперметр *67* и резистор *22*. Схема приходит в свое первоначальное состояние.

Следовательно, на вход интегрирующего контура поступает серия импульсов, амплитуда и длительность которых определяются лишь параметрами схемы и практически не зависят от характеристик запускающих импульсов. Количество циклов заряда — разряда конденсатора интегрирующего контура пропорционально числу импульсов, возникающих в цепи газоразрядного счетчика при действии ионизирующих излучений. Это позволило проградуировать шкалу электроизмерительного прибора, измеряющего силу тока разряда конденсатора *45*, в распадах в минуту на квадратный сантиметр и в миллирентгенах в час.

Глава VIII

КОМПЛЕКТ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗИМЕТРОВ ДП-23-А

§ 1. Назначение и технические данные комплекта

Комплект ДП-23-А предназначен для измерения дозы гамма-излучения. Он обеспечивает измерение доз от 2 до 50 *р* при изменении уровней радиации от 0,5 до 200 *р/ч*. Саморазряд дозиметров за сутки не выше 1,5 *р* для ДС-50 и 4 *р* для ДКП-50-А. Приведенная погрешность не превышает ±15%. Работоспособность комплекта обеспечивается в интервале температур от —40° до +50° С.

Прибор питается от одного элемента 1,6-ПМЦ-У-8, который обеспечивает непрерывную работу не менее 50 *ч*.

Вес камеры 50 *г*. Вес комплекта в укладочном ящике 14 *кг*.

Время подготовки комплекта к работе не превышает 5 *мин*.

§ 2. Общее устройство комплекта

В комплект ДП-23-А входят: зарядно-измерительное устройство, 150 дозиметров ДС-50, 50 дозиметров ДКП-50-А, фонарь, отвертка, техническая документация.

Зарядно-измерительное устройство (рис. 176). Электрическая схема помещена в дюралевый корпус, крышка кото-

рого является панелью управления. На боковой стенке корпуса имеется окно, закрытое стеклом с герметизирующим уплотнением. На передней панели расположены: переключатель на пять положений («Выкл.», «Питание», «Заряд», «Измер.», «ДКП-50-А»), ручка «Заряд», шлицевой регулятор «Питание», находящийся в углублении, закрытом резьбовой пробкой, ручка «Уст. шкалы», гнезда «Заряд» и «Измерение», микроамперметр со шкалой, отградуированной в рентгенах, отсек питания, герметизированное окно.

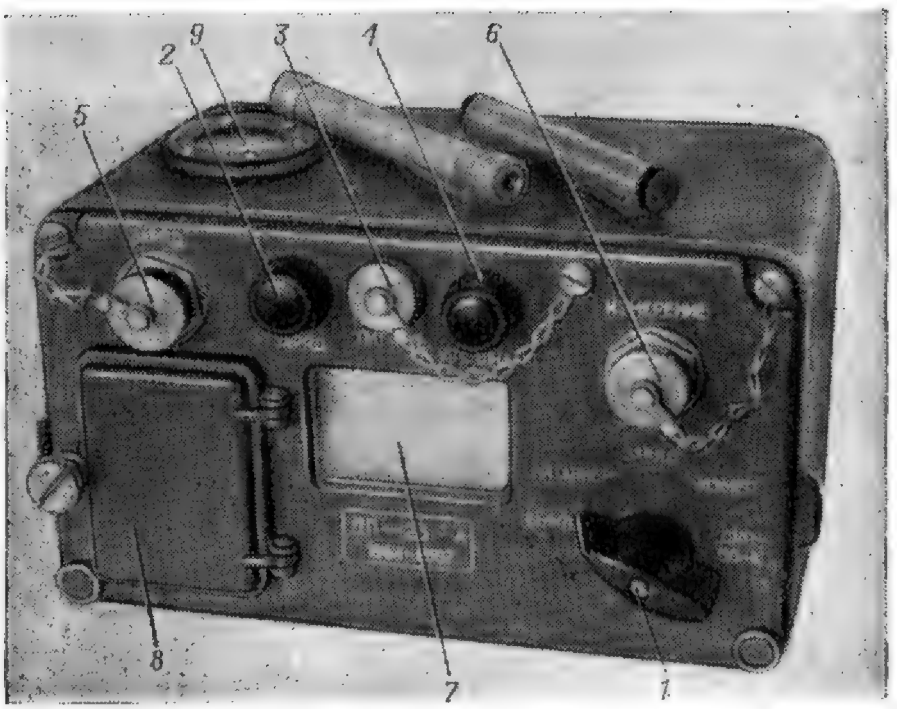


Рис. 176. Зарядно-измерительное устройство комплекта ДП-23-А:

1 — ручка переключателя; *2* — ручка «Заряд»; *3* — шлицевая ручка «Питание», закрытая пробкой; *4* — ручка установки шкалы; *5* — гнездо «Заряд»; *6* — гнездо «Измерение»; *7* — электроизмерительный прибор; *8* — отсек питания; *9* — окно

Дозиметр ДС-50 (рис. 177) состоит из дюралюминиевого корпуса *1*, внутри которого находятся ионизационная камера с электродами *2* и *4*, конденсатор *3*, диафрагма *5* с зарядным контактом *6*. Торец корпуса со стороны диафрагмы закрыт пробкой *7*. На другом конце корпуса находится пробка *8* с держателем *9*, предназначенным для крепления дозиметра к обмундированию.

Дозиметр ДКП-50-А (рис. 178) состоит из цилиндрического корпуса *1*, в котором размещены ионизационная камера с электродами *2* и *4*, конденсатор *3*, электроскоп с кварцевой нитью *13*, оптическое отсчетное устройство (объектив *5*, окуляр *7* и шкала *6*), зарядный контакт *10*, пружина *11*, пылезащитный колпачок *9*. Держатель *12* предназначен для крепления дозиметра к обмундированию.

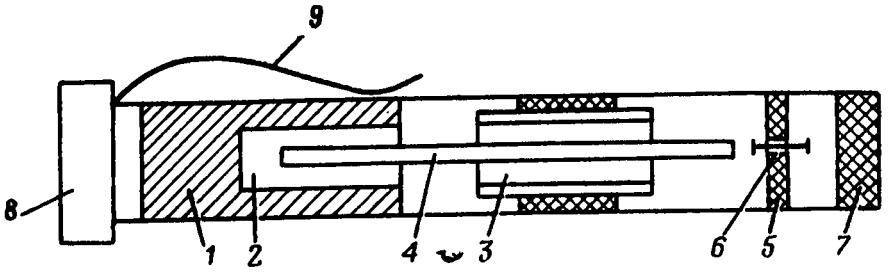


Рис. 177. Дозиметр ДС-50:

1 — корпус; *2* — отрицательный электрод; *3* — конденсатор; *4* — положительный электрод; *5* — резиновая диафрагма, *6* — контакт; *7* и *8* — пробки; *9* — держатель

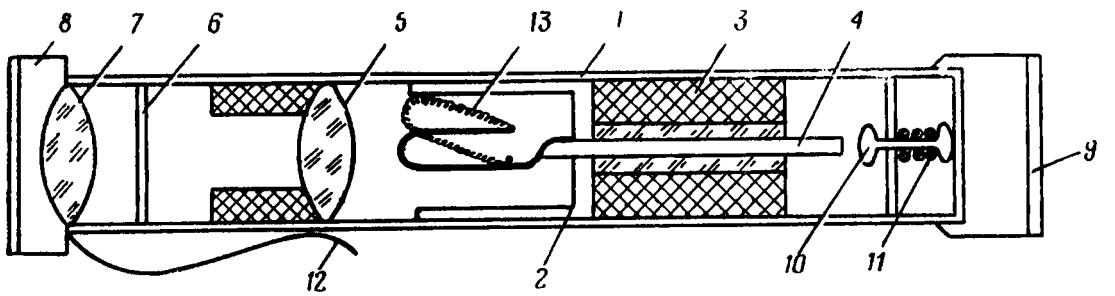


Рис. 178. Дозиметр ДКП-50-А:

1 — корпус; *2* — отрицательный электрод; *3* — конденсатор; *4* — положительный электрод; *5* — объектив; *6* — шкала; *7* — окуляр; *8* — верхняя пробка; *9* — нижняя пробка; *10* — контакт; *11* — пружина; *12* — держатель; *13* — подвижный лепесток электроскопа (нить)

§ 3. Порядок работы с дозиметрами ДС-50 и ДПК-50-А

Работа с комплектом ДП-23-А начинается с внешнего осмотра принадлежностей, входящих в него. Проверяется исправность ручек, четкость фиксации положений переключателя, целостность защитных стекол, герметизация, очищаются гнезда «Заряд» и «Измерение» от металлической пыли.

Проверка исправности пульта. Первоначально заряжается контрольный дозиметр ДС-50 № 150 и производится измерение. При этом стрелка микроамперметра должна установиться на красную риску вблизи нуля шкалы. Если стрелка не устанавливается на риску, производится регулировка чувствительности схемы ручкой, расположенной в отсеке питания. После этого дозиметр заряжается и производится повторное измерение. Так поступают до тех пор, пока стрелка микроамперметра не установится на красную риску.

Заряд дозиметра ДС-50. Переключатель пульта ставится в положение «Питание» и вращением регулятора «Питание» стрелка измерительного прибора совмещается с крайней правой риской на шкале. Затем устанавливается зарядное напряжение; для этого переключатель переводится в положение «Заряд» и вращением ручки «Заряд» стрелка совмещается с той же риской шкалы. Отвертываются колпачок гнезда «Заряд» и пробка дозиметра, дозиметр вставляется в гнездо и слегка нажимается для обеспечения контакта.

Измерение дозы, зарегистрированной дозиметром ДС-50. Работа с комплектом по измерению дозы излучения начинается с внешнего осмотра, с проверки дозиметров и их принадлежности данному комплекту. Убедившись в полной исправности прибора, приступают к подготовке пульта к измерениям. Для этого проверяется питание в последовательности, рассмотренной выше, переключатель устанавливается в положение «Измер.» и вращением ручки «Уст. шкалы» стрелка совмещается с крайней правой риской на шкале микроамперметра. После этого отвертываются колпачок гнезда «Измерение» и нижняя пробка дозиметра, дозиметр вставляется в гнездо «Измерение». Отсчет дозы производится непосредственно со шкалы прибора.

Прибор позволяет производить повторное измерение, при этом из результата отсчета вычитается 4 *р*.

Заряд дозиметра ДПК-50-А. После внешнего осмотра и проверки питания переключатель ставится в положение «ДПК-50-А». Отвертываются колпачок гнезда «Заряд» и пылезащитный колпачок дозиметра, дозиметр вставляется до упора в гнездо «Заряд». Зарядно-измерительное устройство (пульт) располагают боковым окном корпуса к свету (в темноте подсвет шкалы производят электрическим фонариком), вращением ручки «Заряд» совмещается нить дозиметра с нулем шкалы.

Измерение дозы дозиметром ДКП-50-А. Дозиметр направляется пылезащитным колпачком на источник света так, чтобы хорошо были видны деления шкалы и нить; производится отсчет дозы излучения непосредственно со шкалы дозиметра в рентгенах.

§ 4. Блок-схема и принцип действия комплекта

Блок-схема (рис. 179) включает зарядное устройство (гнездо «Заряд», переключатель напряжения, вольтметр и делитель напряжения) и измерительное устройство (гнездо «Измерение», ламповый электрометр, емкостный делитель, микроамперметр). Питание обеспечивается элементом 1,6-ПМЦ-У-8 и преобразователем напряжения.

Принцип работы комплекта заключается в следующем. Дозиметры ДС-50 предварительно заряжаются, регистрируются и выдаются личному составу. При воздействии на них гамма-излучения происходит уменьшение первоначального заряда пропорционально полученной дозе. Определение дозы излучения, зарегистрированной дозиметром ДС-50, производится измерительной схемой. Для этого облученный дозиметр помещается в измерительное гнездо пульта. Доза регистрируется микроамперметром.

При заряде дозиметра ДКП-50-А ионизационная камера — конденсатор приобретает заряд. Положительная пластина конденсатора соединена со стержнем, имеющим подвижный лепесток — кварцевую нить. В результате взаимодействия стержня и нити возникает сила, которая заставляет нить отойти от электрода на определенное

расстояние, совпадающее с нулевым делением шкалы. При воздействии гамма-излучения уменьшается заряд камеры, что уменьшает силу отталкивания нити от электрода. Под действием упругости

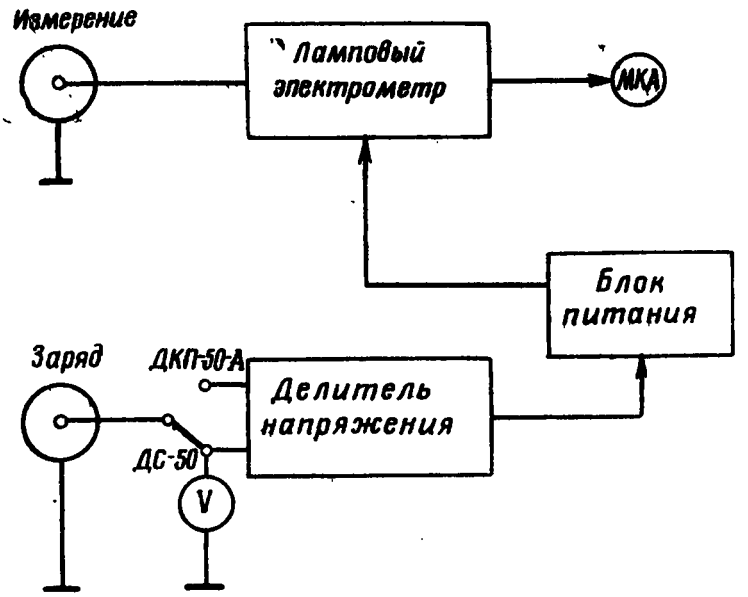


Рис. 179. Блок-схема зарядно-измерительного пульта ДП-23-А

нить движется к исходному положению, а ее тень перемещается вправо по шкале, отградуированной в рентгенах. Отсчет производится по положению нити через оптическую систему, обладающую 45-кратным увеличением.

§ 5. Упрощенная схема зарядного устройства

Ток, проходя по пути (рис. 180): положительная пластина конденсатора *40*, резисторы *29* и *6*, отрицательная пластина конденса-

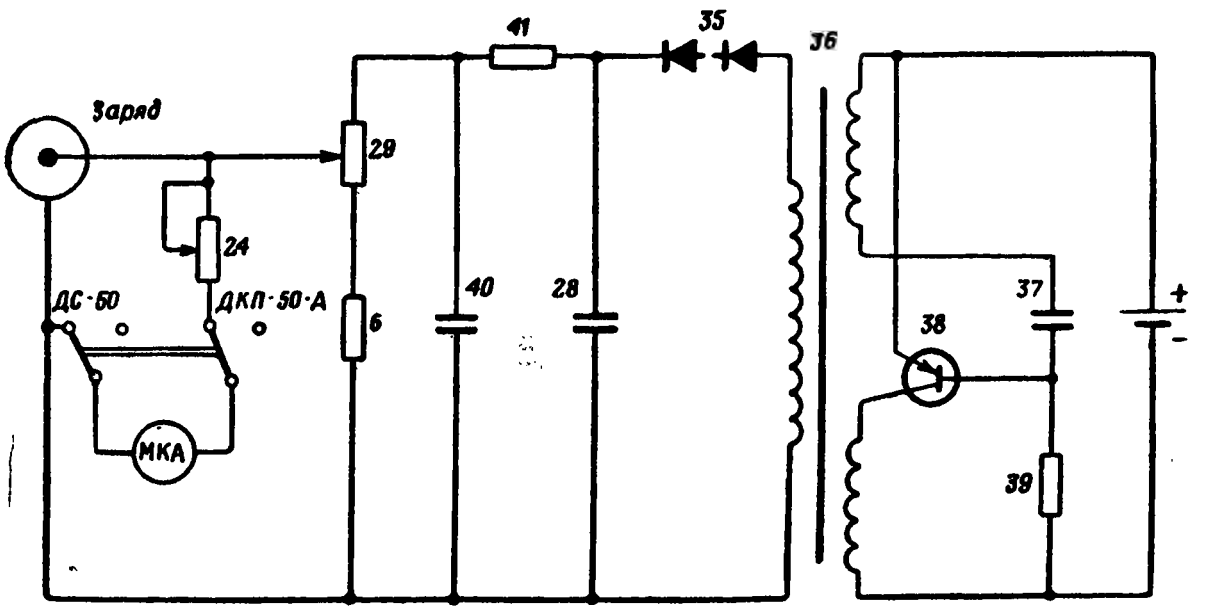


Рис. 180. Упрощенная схема зарядного устройства прибора ДП-23-А

тора *40*, создает на делителе напряжения, состоящем из резисторов *29* и *6*, падение напряжения, часть которого снимается и подается плюсом на центральный электрод гнезда «Заряд», а минусом на его корпус. Величина снимаемого напряжения регулируется переменным резистором *29* и контролируется вольтметром, в качестве которого используется микроамперметр с добавочным резистором *24*. В положении переключателя «ДКП-50-А» надобность в вольтметре отпадает, и поэтому цепь микроамперметра разрывается.

§ 6. Упрощенная схема измерительного устройства

Для измерения остаточного напряжения на ионизационной камере дозиметр ДС-50 вставляется в гнездо «Измерение» (рис. 181). При этом заряд камеры перераспределяется между конденсаторами емкостного делителя напряжения. Ламповый каскад используется в схеме в качестве лампового вольтметра с большим входным сопротивлением для измерения напряжения на конденсаторах *10* и *14*.

При включении измерительного устройства работает преобразователь напряжения (транзистор *38*, селеновые столбики *32* и *33*, конденсаторы *27*, *34* и *37*, резистор *39*), обеспечивая питание анодной цепи (конденсатор *34*), цепи компенсации и цепи смещения (конденсатор *27*). Накальный ток, проходя по цепи: плюс элемента, резистор *25*, нить накала, минус элемента, вызывает термоэлектронную эмиссию с катода. Переменным резистором *25* регулируется напряжение накала катода.

Часть падения напряжения, создаваемого на резисторе *22*, проходящим с конденсатора *27* током, снимается на сетку лампы, при-

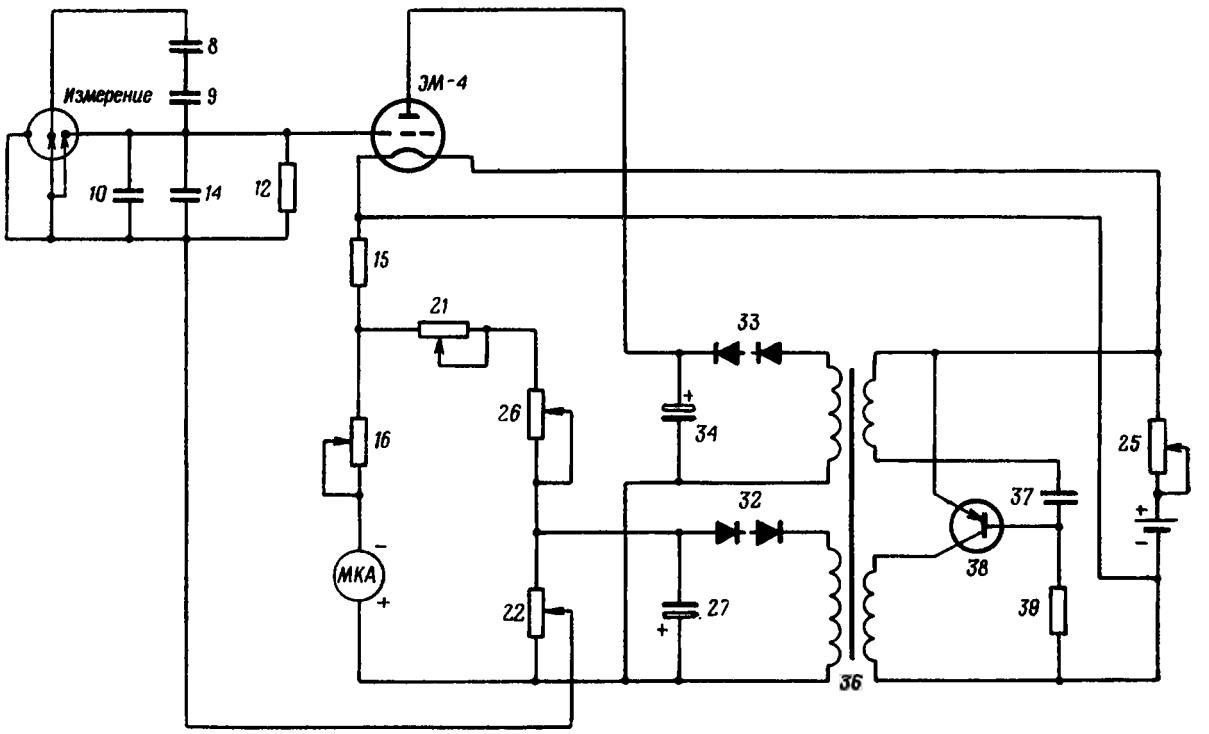


Рис. 181. Упрощенная схема измерительного устройства прибора ДП-23-А

чем минус с движка резистора *22* через резистор *12* прикладывается к сетке, а плюс через микроамперметр, резисторы *16* и *15* — к катоду лампы, обеспечивая положение рабочей точки в начале прямолинейного участка характеристики лампы. При этом в анодной цепи проходит ток по пути: положительная пластина конденсатора *34*, участок анод — катод лампы ЭМ-4, резисторы *15* и *16*, микроамперметр, отрицательная пластина конденсатора *34*; ток вызывает отклонение стрелки прибора влево от нуля шкалы (так как микроамперметр включен в цепь обратной полярностью). Компенсационный ток, проходя по цепи: положительная пластина конденсатора *27*, микроамперметр, резисторы *16, 21* и *26*, отрицательная пластина конденсатора *27*, отклоняет стрелку прибора вправо от нуля. Изменением сопротивления переменного резистора *26*, ручка которого выведена на панель управления, добиваются совпадения стрелки с крайней правой риской шкалы. Обкладки конденсаторов емкостного делителя замкнуты накоротко, поэтому напряжение на них равно нулю.

При установке дозиметра ДС-50 в гнездо «Измерение» механически размыкаются контакты, замыкавшие обкладки конденсаторов; остаточное напряжение дозиметра распределяется по конденсаторам емкостного делителя обратно пропорционально их емкостям. Напряжение с конденсаторов *10* и *14* прикладывается к управляющей сетке, причем плюсом к сетке, а минусом через резистор *22*, микроамперметр, резисторы *16* и *15* — к катоду, вследствие чего отрицательное напряжение сетки лампы уменьшается, вызывая возрастание анодного тока и отклонение стрелки прибора влево. Чем меньше доза, тем больше остаточное напряжение дозиметра, тем больше заряд конденсаторов *10* и *14*, тем меньше отрицательное напряжение на сетке и больше анодный ток и тем больше влево отклоняется стрелка микроамперметра.

Глава IX

КОМПЛЕКТ ДОЗИМЕТРОВ ДП-22-В

§ 1. Назначение и технические данные комплекта

Комплект дозиметров ДП-22-В предназначен для измерения доз излучения.

Диапазон измерений дозиметров — от 2 до 50 *р* при изменении уровней радиации от 0,5 до 200 *р/ч*. Приведенная погрешность измерения ±10%. Самозаряд дозиметров не превышает 4 *р* за сутки.

Работа дозиметров обеспечивается в интервале температур от —40° до +50° С и при относительной влажности воздуха 98%. Продолжительность непрерывной работы комплекта питания (два элемента 1,6-ПМЦ-У-8) 30 *ч*.

Вес дозиметра 50 *г*; вес комплекта 5,6 *кг*.
Время подготовки зарядного устройства к действию 1—2 *мин*.

§ 2. Общее устройство комплекта

В комплект дозиметров ДП-22-В входят (рис. 182): 50 прямопоказывающих дозиметров ДКП-50-А, зарядное устройство ЗД-5, футляр, техническая документация.

Рис. 182. Комплект дозиметров ДП-22-В:
1 — прямопоказывающие дозиметры ДКП-50-А; *2* — зарядное устройство ЗД-5; *3* — технический формуляр и описание прибора; *4* — укладочный ящик

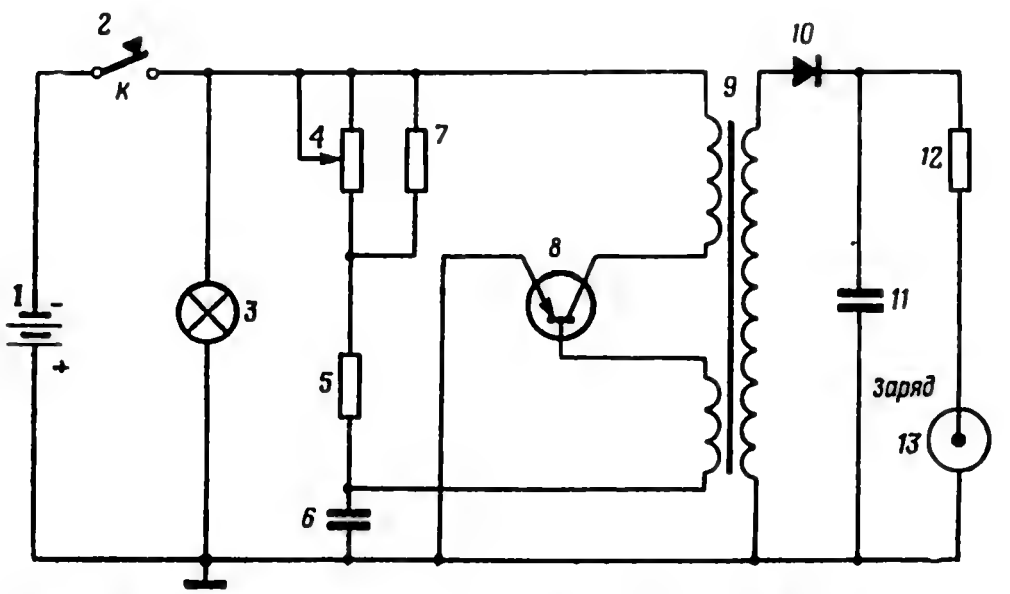


Рис. 183. Принципиальная схема зарядного устройства ЗД-5

Дозиметр ДКП-50-А описан в предыдущей главе.

Электрическая схема зарядного устройства ЗД-5 (рис. 183) смонтирована в металлическом корпусе, на передней панели которого расположены: гнездо «Заряд» с крышкой, ручка регулировки зарядного напряжения «Зарядное напряжение», отсек питания. Зарядное устройство представляет собой преобразователь постоянного напряжения — транзистор *8*, трансформатор *9*, диод *10*, резисторы *4*, *5*, *7* и *12*, конденсаторы *6* и *11*. Напряжение 180—250 *в* снимается с выхода преобразователя на контакты гнезда «Заряд»; величина этого напряжения регулируется резистором «Заряд» *4*, его ручка находится на передней панели. Шкала дозиметра при его заряде подсвечивается лампой, помещенной внутри зарядного устройства. Питание преобразователя и лампы подсвета включается микровыключателем при установке дозиметра в зарядное гнездо.

§ 3. Подготовка комплекта к действию и работа с ним

Подготовка комплекта к действию слагается из его внешнего осмотра, проверки комплектности и заряда дозиметров ДКП-50-А. При осмотре следует выявить принадлежность дозиметров данному комплекту, их техническую исправность.

Для подготовки дозиметра ДКП-50-А к работе отвинчиваются пылезащитный колпачок дозиметра и колпачок гнезда «Заряд». Ручка «Заряд» выводится против часовой стрелки, дозиметр вставляется в гнездо и слегка упирается в его дно. Оператор, наблюдая в окуляр и вращая ручку «Заряд» по часовой стрелке, устанавливает тень от нити на нуль шкалы дозиметра. Затем пылезащитный колпачок навинчивается на основание дозиметра.

Показания дозиметра снимаются на свету при вертикальном положении нити.

В нерабочем состоянии дозиметры должны храниться заряженными, в сухом помещении, при температуре $+20^{\circ}$ С, в вертикальном положении.

Глава X

КОМПЛЕКТ ДОЗИМЕТРОВ ДК-0,2

Комплект дозиметров ДК-0,2 служит для измерения доз гамма-излучения в лабораторных условиях. В него входят десять индивидуальных дозиметров и зарядное устройство. С помощью дозиметра ДК-0,2 измеряются дозы гамма-излучения от 10 до 200 *мр* при уровнях радиации, не превышающих 6 *р/ч*.

Устройство дозиметра ДК-0,2 отличается от дозиметра ДКП-50-А только габаритами. Дозиметры ДК-0,2 заряжаются на устройстве ЗД-4, электрическая схема которого представляет собой преобразователь постоянного напряжения на транзисторе.

Для подготовки дозиметра к регистрации дозы излучения на пульте отвинчивается пробка гнезда «Заряд» и включается питание пульта установкой тумблера в положение «Вкл.». При этом в гнезде загорается лампа подсвета. Оператор, наблюдая в окуляр микроскопа и вращая ручку «Заряд», помещает тень от нити на нулевое деление шкалы дозиметра.

Принцип работы и правила эксплуатации дозиметров ДК-0,2 те же, что и дозиметров ДКП-50-А.

Облучение личного состава контролируется каждый день. Показания дозиметра заносятся в журнал учета облучения ежедневно. В конце рабочей недели подсчитывается недельная доза: складываются ежедневные дозы и из результата вычитается недельный саморазряд дозиметра. Дозиметры с недельным саморазрядом более 10 *мр*, а также с относительной погрешностью более 20% использозать нельзя.

Глава XI

ХИМИЧЕСКИЕ ДОЗИМЕТРЫ ДП-70 И ДП-70М

§ 1. Технические данные дозиметров ДП-70 и ДП-70М

Химические дозиметры ДП-70 и ДП-70М предназначены для измерения доз излучения с целью медицинской диагностики степени поражения личного состава лучевой болезнью. Они выдаются в дополнение к имеющимся у военнослужащих дозиметрам типа ДС-50 и ДКП-50-А.

Конструкция дозиметров ДП-70 и ДП-70М одинакова. Однако заполняются они разными жидкостями и поэтому предназначаются для различных целей: дозиметр ДП-70 — для регистрации дозы гамма-излучения, дозиметр ДП-70М — для регистрации дозы проникающей радиации. Диапазон измерений дозиметров 50—800 *р*, относительная погрешность измерения ±25%.

Дозиметры ДП-70 и ДП-70М позволяют фиксировать как однократные дозы излучения, так и дозы, накапливаемые за время до 30 суток.

Температурный режим работы дозиметров ДП-70 — от —20° до +50° С, дозиметров ДП-70М — от —40° до +50° С.

Вес дозиметра 40 *г*. Время снятия показаний не ранее 1 *ч* после облучения. Срок хранения ампул с жидкостью 18 месяцев.

§ 2. Устройство и принцип действия прибора

Химические дозиметры ДП-70 и ДП-70М применяются вместе с полевым колориметром ПК-56 (рис. 184).

Химический дозиметр представляет собой стеклянную ампулу, заполненную бесцветной жидкостью (6 *мл*). Под действием ионизирующих излучений жидкость в ампуле изменяет окраску от бледно-розовой до ярко-малиновой. Плотность окраски пропорциональна дозе излучения.

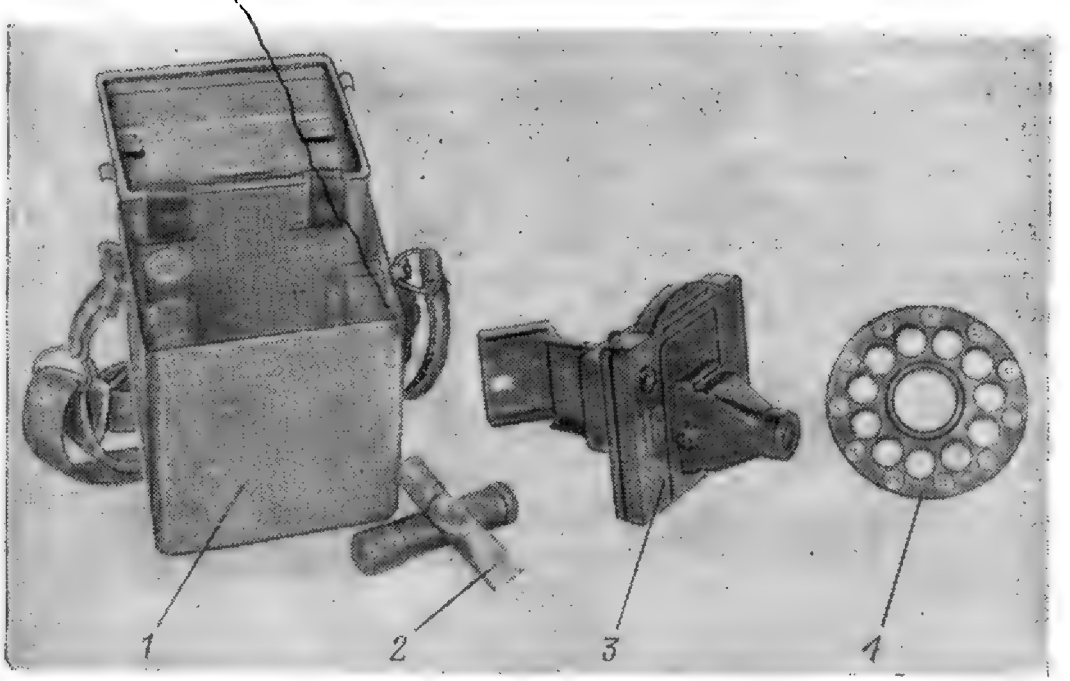


Рис. 184. Химический дозиметр ДП-70 и полевой колориметр ПК-56
1 — футляр для калориметра ПК-56; *2* — химический дозиметр ДП-70; *3* — полевой калориметр ПК-56; *4* — диск со светофильтрами

Ампула помещена в металлический футляр с крышкой, который предохраняет дозиметр от механических воздействий и солнечных лучей. На торце футляра выбит номер дозиметра. На внутренней стороне крышки расположен цветной индикатор, окраска которого соответствует дозе в 100 *р*. Ампула фиксируется внутри футляра с помощью резинового амортизатора и ватной прокладки. Крышка футляра опечатывается хлорвиниловой оболочкой.

Дозы излучения измеряются с помощью полевого колориметра ПК-56. Колориметр состоит из основания с крышкой, на внешней поверхности которой расположены направляющие для съемной камеры. Камера имеет два гнезда, куда помещаются контрольная и обследуемая ампулы, а также крышку с матовым стеклом. Внутри основания колориметра помещен вращающийся диск со светофильтрами различной плотности, окраска которых соответствует дозам 0, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 450, 600 и 800 *р*. На лицевой части основания расположен окуляр, в котором видны два поля: окрашенное и бесцветное. Сбоку корпуса колориметра расположено смотровое окно нумератора доз излучения.

§ 3. Работа с прибором

Измерять дозы излучения химическими дозиметрами можно грубо и более точно. В первом случае используется цветной индикатор. Если окраска жидкости в ампуле светлее (темнее) окраски индикатора, то доза излучения меньше (больше) 100 *р*.

Более точно доза определяется с помощью полевого колориметра. Для этого в камеру со стороны крышки помещаются две ампулы: контрольная из комплекта и облученная. Контрольную ампулу с бесцветной жидкостью помещают в гнездо, совпадающее со светофильтрами. Оператор направляет окно камеры к источнику света и, наблюдая в окуляр, вращает диск со светофильтрами до совпадения окраски полей; считывает в окне нумератора цифру — дозу излучения в рентгенах. После отсчета облученная ампула извлекается из камеры и уничтожается.

Раздел пятый

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОЙСКОВЫХ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Глава I

ХРАНЕНИЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ИМУЩЕСТВА

К дозиметрическому имуществу относятся дозиметрические приборы, источники питания их, радиоактивные источники для градуировки и проверки работоспособности приборов, гамма-установки для градуировки приборов и ремонтные комплекты.

Это имущество может храниться на центральных складах и базах, окружных и армейских складах, на складах частей и в подразделениях.

§ 1. Хранение дозиметрических приборов

Дозиметрические приборы хранятся в соответствии с требованиями, изложенными в Руководстве по хранению химической техники и имущества на складах (базах) и в частях Советской Армии и Военно-Морского Флота, изд. 1963 г.

На кратковременное хранение ставятся приборы, эксплуатация которых планируется в ближайшие шесть месяцев. На длительное хранение ставятся приборы, эксплуатация которых не планируется в ближайшие шесть месяцев. Хранению подлежат только технически исправные и полностью укомплектованные приборы.

На складах дозиметрические приборы содержатся в специальных отапливаемых хранилищах, на стеллажах или в шкафах в опломбированных укладочных ящиках и герметических чехлах из полиэтиленовой пленки.

Наиболее благоприятные условия для хранения дозиметрических приборов: температура $+20 \pm 10^{\circ}$ С и относительная влажность воздуха 45—70%; резкие колебания температуры в течение суток недопустимы. В хранилище должны быть термометр и психрометр. Лица, ответственные за хранение приборов, дважды в день (утром и в конце рабочего дня) должны измерять температуру и влажность и результаты измерений заносить в графики.

Запрещается хранить дозиметрические приборы совместно с агрессивными химическими веществами, а также ставить укладочные ящики один на другой или на пол.

На центральных и окружных складах рентгенметры и радиометры старых образцов содержатся без контрольных препаратов. Изъятые из комплекта контрольные гамма-препараты размещаются отдельно в специальных хранилищах в опечатанных свинцовых контейнерах. При хранении большого количества приборов с контрольными бета-препаратами уровень радиации в хранилищах на высоте 1 *м* от пола не должен превышать 5 *мр/ч*.

В воинских частях дозиметрические приборы подразделяются на три группы: длительного хранения, текущего довольствия и учебные.

Дозиметрические приборы длительного хранения содержатся на складе части и учитываются отдельно от приборов текущего довольствия. Приборы текущего довольствия выдаются со склада части в подразделения по распоряжению командира части. Учебные приборы, а также макеты и стенды, используемые в классах (лабораториях) в качестве пособий, закрепляются за лицами, ответственными за данные помещения.

В подразделениях дозиметрические приборы хранятся в запирающихся шкафах. Шкафы оборудуются полками и разделяются на вертикальные отсеки. Нижняя полка должна быть на высоте не менее 0,2 *м* от пола. На дверцах шкафа против каждой полки крепятся стеллажные ярлыки с перечислением типов и номеров приборов и фамилий военнослужащих, за которыми они закреплены. Приборы с гамма-препаратами в подразделениях можно содержать не более 10 шт. в одном помещении.

В полевых условиях дозиметрические приборы должны храниться в укладочных ящиках в убежищах размером примерно 3×6 *м*, оборудованных полками. Убежища тщательно маскируются и должны иметь не менее двух входов. Если на оборудование убежищ времени мало, приборы могут размещаться в укрытиях или окопах глубиной не менее 1,5 *м;* в этом случае они устанавливаются на деревянные настилы или подкладки. Ставить укладочные ящики или приборы на землю запрещается.

Средства радиационной разведки, смонтированные в бронетранспортерах, автомашинах и танках, зимой при перерывах в эксплуатации машин больше одного месяца снимаются и после консервации размещаются в оборудованных отапливаемых хранилищах.

В боевой обстановке для подвижных ремонтных химических мастерских оборудуются укрытия котлованного типа.

§ 2. Хранение источников питания

Элементы и батареи к приборам хранятся в сухих прохладных помещениях при относительной влажности не более 70% и температуре не ниже —10° и не выше +25° С. Холодостойкие элементы выдерживают температуру +25° не более одного месяца.

Если приборы хранятся более 10 суток, источники питания отключаются и изымаются из них. В некоторых случаях по решению командира части источники питания могут не отключаться, их годность проверяется один раз в неделю.

На складах элементы учитываются по срокам изготовления и хранятся раздельно по типам: холодостойкие, нехолодостойкие, универсальные. Элементы и батареи хранятся в вертикальном положении как в упаковочных ящиках, так и вне их.

На центральных складах элементы должны храниться не более половины гарантийного срока. В частях и соединениях источники питания, непригодные для дальнейшего использования, списываются как расходное имущество.

Аккумуляторы и аккумуляторные батареи хранятся в хорошо вентилируемых помещениях. При низких температурах электрические и эксплуатационные характеристики щелочных аккумуляторов не ухудшаются, однако резкие колебания температуры ускоряют коррозию сосудов и вызывают порчу деревянных ящиков. Щелочные аккумуляторы длительно хранить при высокой температуре не рекомендуется, при температуре выше 30° С они могут выйти из строя.

В помещении, где находятся щелочные аккумуляторы, запрещается хранить кислоты и кислотные аккумуляторы. Для изоляции электролита от углекислоты воздуха в каждую банку аккумуляторов наливается несколько капель вазелинового масла. При длительном хранении аккумуляторы хранятся без электролита.

§ 3. Хранение источников ионизирующих излучений

Обращаться с радиоактивными излучателями и препаратами надо аккуратно, соблюдая необходимые меры предосторожности, строго выполняя правила их хранения и эксплуатации.

Все источники ионизирующих излучений содержатся в специальных заглубленных хранилищах, которые сооружаются на возвышенном месте и огораживаются колючей проволокой. На хорошо видимых местах устанавливаются специальные знаки: на желтом фоне три красных расходящихся луча и надпись: «Радиоактивность». В подвале хранилища оборудуются бетонированные гнезда для гамма-источников, содержащихся в свинцовых или чугунных контейнерах. На каждом контейнере (или ящике, в котором он закреплен) должна быть бирка, где указывается номер источника, его активность и дата измерения активности. Контейнеры с гамма-излучателями и пеналы, в которых хранятся альфа- и бета-препараты, опечатываются. Контейнеры, в которых хранятся гамма-излучатели, должны снижать уровень радиации до 10 *мр/ч* (на наружной поверхности контейнера).

Хранилища оборудуются приспособлениями для переноски контейнеров; в крупных хранилищах используются манипуляторы («механические руки») для перекладки излучателей в ампулы и

сигнальные рентгенметры для контроля гамма-фона в хранилище.

В частях источники ионизирующих излучений могут храниться в землянках, удовлетворяющих изложенным выше требованиям.

Глава II

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Дозиметрические приборы, состоящие на вооружении подразделений и частей Советской Армии и Военно-Морского Флота, должны быть постоянно готовы к использованию. Приборы, находящиеся в эксплуатации, закрепляются за отдельными военнослужащими, которые должны хорошо знать принцип действия приборов, устройство их, правила использования и хранения.

Должностные лица, в подчинении которых находятся подразделения и части, имеющие приборы, должны регулярно контролировать соблюдение правил эксплуатации приборов, проверять их техническое состояние и комплектность, следить за своевременностью ремонта, обеспечивать техническое обслуживание приборов.

Объем и последовательность работ по техническому обслуживанию дозиметрической аппаратуры предусмотрены Руководством по техническому обслуживанию войсковых дозиметрических приборов и приборов химической разведки, изд. 1966 г. В нем определены сроки межремонтной эксплуатации дозиметрических приборов. Так, до среднего ремонта рентгенметры ДП-2 и ДП-3 должны наработать не менее 140 *ч*, радиометры ДП-5-А и ДП-12 — 80 *ч*, комплекты дозиметров — 120 *ч*. Приборы планируются к капитальному ремонту, если время их эксплуатации превысило: для рентгенметров ДП-2 и ДП-3-Б — 400 *ч*, радиометров ДП-12 — 240 *ч*, комплектов индивидуальных дозиметров ДП-23-А — 360 *ч*.

При обучении запрещается вскрывать электрические схемы приборов, для этого используются учебные образцы.

§ 1. Ввод приборов в эксплуатацию. Выдача приборов в подразделения

Приборы, поступающие в воинскую часть, принимает комиссия, назначаемая командиром части. Комиссия проверяет количество, комплектность и состояние приборов и затем передает их на склад части. В техническом формуляре прибора в разделе «Для служеб-

ных отметок» делается запись: «Прибор поступил в воинскую часть «__» _____ 19__г.». Запись скрепляется подписью начальника химической службы части или лица, ответственного в части за эксплуатацию и сбережение химического вооружения и имущества.

Со склада части приборы получают старшины подразделений. При выдаче приборов со склада проверяется их комплектность и работоспособность. О закреплении прибора за военнослужащими старшина подразделения делает запись в техническом формуляре в разделе «Для служебных заметок»: «Ответственный за эксплуатацию и содержание прибора (звание, фамилия)».

Учебные приборы закрепляются наравне с приборами текущего довольствия. На обложке технического формуляра учебного прибора делается отметка «Учебный», а укладочный ящик (футляр, сумка) маркируется буквой «У» красного цвета размером 40 × 60 *мм*.

§ 2. Эксплуатация приборов в войсках

Эксплуатации подлежат только исправные приборы. Личный состав, работающий с ними, обязан защищать их от попадания грязи, дождя, снега, прямых солнечных лучей и т. д., беречь от толчков, ударов и падений.

Для защиты приборов от атмосферных осадков и пыли необходимо следить за герметизацией прибора, регулярно протирать его, а при повышенной влажности протирать неокрашенные поверхности промасленной ветошью. В условиях значительного пылеобразования следует регулярно протирать влажной ветошью приборы, установленные на подвижных объектах. Размещая приборы на земле (снегу), надо подложить под них доски, сено, сухие ветки и т. д. При перерывах в работе приборы размещают в укладочных ящиках. Зимой необходимо применять холодостойкие элементы. Если приборы с холода вносятся в теплое помещение, следует в течение 1,5—2 *ч* выдержать их в укладочном ящике, после чего тщательно протереть сухой ветошью. Запрещается содержать приборы вблизи отопительных систем и у костра.

Источники питания пригодны к использованию, если они позволяют установить рабочий режим питания прибора. Сухие элементы можно проверить в лабораторных условиях, измерив напряжение под нагрузкой. Так, чтобы проверить пригодность элемента 1,6-ПМЦ-У-8, нужно подключить к его выводам резистор с сопротивлением 10 *ом*; напряжение на выводах элемента должно быть не меньше 0,7 *в*.

Для того чтобы предупредить неисправности электрической схемы прибора, необходимо твердо знать порядок подготовки его к работе. Перед включением убедиться в правильности подключения источников питания. Если прибор питается от сети, следует проверить установку переключателя (перемычки) на номинальное напряжение. По окончании работы нужно выключить прибор.

Если в приборе есть неисправности, относящиеся к текущему ремонту, их устраняет при техническом обслуживании то лицо, за которым закреплен прибор. Если неисправность в приборе не может быть устранена в войсковых условиях, прибор направляют в ремонтные мастерские. Решение об этом принимает комиссия, проводящая техническую проверку, или начальник химической службы.

§ 3. Ведение эксплуатационной документации

В комплект каждого типа дозиметрического прибора входит эксплуатационная документация. Она состоит из технического описания, инструкции по эксплуатации и технического формуляра. Для большинства приборов техническое описание и инструкция по эксплуатации объединены. Они предназначены для изучения устройства и принципа работы, подготовки прибора к работе, а также для знакомства с правилами технического обслуживания и особенностями эксплуатации. Вносить в эти документы изменения, не предусмотренные руководством по техническому обслуживанию или специальными бюллетенями, не разрешается.

В техническом формуляре делаются записи о техническом состоянии, закреплении прибора, времени его работы за каждый квартал, проведении технических осмотров и проверок, ремонта, консервации и градуировки. Заполняется формуляр строго по графам и чернилами.

На каждый прибор в подразделении заводится «Лист повседневного учета работы прибора» (табл. 9).

Таблица 9

Ответственный за прибор _____
(звание, фамилия и инициалы)

ЛИСТ
ПОВСЕДНЕВНОГО УЧЕТА РАБОТЫ ПРИБОРА

Тип прибора_____, №_____, год изготовления 19____

Дата	Время работы прибора, *мин*	Дата	Время работы прибора, *мин*	Дата	Время работы прибора, *мин*

Всего за_____квартал 19__ г._____минут_____часов.

Лист заполняется ежедневно после работы лицом, за которым прибор закреплен, и вкладывается в технический формуляр. В конце квартала по данным листа командир отделения заносит в формуляр суммарное время работы прибора. После использования лист заменяется новым.

§ 4. Техническое обслуживание приборов, находящихся в эксплуатации

Для поддержания технической исправности и обеспечения безотказной работы приборов проводятся повседневное и периодическое технические обслуживания их.

Повседневное техническое обслуживание производится непосредственно в подразделениях после занятий или других работ с приборами лицом, за которым они закреплены.

Периодическое техническое обслуживание включает все мероприятия повседневного обслуживания и контрольно-проверочные работы. В это обслуживание входят также ремонтно-профилактические работы и проверка градуировки приборов.

Периодическое техническое обслуживание планируется в масштабе части (соединения), для его осуществления привлекаются ремонтные мастерские. В войсках оно проводится, как правило, два раза в год и может быть совмещено с технической проверкой приборов части.

Перед техническим обслуживанием все дозиметрические приборы, побывавшие на зараженной местности, дезактивируются двухтрехкратным протиранием наружных поверхностей ветошью, слегка смоченной дезактивирующим раствором или бензином; затем вся поверхность прибора и ручки протираются сухой ветошью. Укладочные ящики дезактивируют протиранием ветошью, а брезентовые сумки — выколачиванием. После дезактивации неокрашенные части приборов протирают промасленной ветошью во избежание коррозии.

Повседневное техническое обслуживание предусматривает наружный осмотр, проверку комплектности и работоспособности прибора.

При наружном осмотре прибора проверяются исправность и прочность крепления ручек, замки, состояние окраски укладочных ящиков, исправность переносных ремней и целость чехла, пломбы и состояние окраски корпуса. На панели управления проверяются плавность хода и надежность фиксации переключателей, отсутствие видимых повреждений электроизмерительного прибора, целость уплотняющей прокладки и затяжка винтов. Накидные гайки и разъемы должны быть смазаны и легко соединяться. Гнезда «Заряд» и «Измерение» зарядно-измерительных пультов комплектов дозиметров проверяются на загрязненность и наличие металлической пыли. У датчиков не должно быть вмятин, трещин; фольга (защитная пленка) на датчике должна быть цела. У индивидуальных дозиметров не должно быть перекоса нити, погнутостей корпуса. Дозиметры и гнезда «Заряд» и «Измерение» чистятся сухой кисточкой.

После работы под дождем все металлические неокрашенные наружные части приборов протираются промасленной ветошью.

Комплектность приборов, размещение комплекта и ЗИП проверяются по описи в техническом формуляре.

Работоспособность приборов контролируется по радиоактивному препарату. На подвижных объектах проверяется крепление прибора. Для этого осматриваются болты, гайки, пружинные шайбы, резиновые прокладки и амортизаторы.

Поврежденная окраска укладочных ящиков восстанавливается нитроэмалью 508. С участка, подлежащего окраске, удаляются загрязнения, ржавчина и следы смазки. После этого краска ровным слоем наносится на поверхность укладочного ящика.

§ 5. Техническое обслуживание и консервация приборов при хранении

В зависимости от предполагаемого срока хранения приборов (кратковременного или длительного) устанавливается различный объем работ по техническому обслуживанию, обеспечивающих сохранность приборов в течение срока хранения.

При постановке приборов на кратковременное хранение необходимо осмотреть приборы, укладочные ящики, очистить их от загрязнений и коррозии, проверить правильность размещения комплекта. После этого следует проверить работоспособность прибора и извлечь источники питания. Очистив отсек питания и восстановив поврежденную окраску, необходимо смазать неокрашенные металлические поверхности приборов техническим вазелином и проложить их вощеной бумагой.

При постановке на длительное хранение кроме перечисленных работ проверяется градуировка приборов и саморазряд дозиметров, а также производится консервация дозиметрических приборов. В последнем случае на неокрашенные части приборов наносится смазка или они герметизируются в чехлах с применением влагопоглотителей. Консервация с помощью смазки проводится в теплое время или в отапливаемом помещении при низкой влажности. Не подвергаются смазке детали схемы и детали, изготовленные из пластмасс, резины и эбонита.

При консервации прибора сначала тряпкой, смоченной в бензине, очищается старая смазка, после чего протирается сухой чистой ветошью и наносится новая смазка. При появлении ржавчины на деталях, имеющих лакокрасочное покрытие, пораженные места очищаются и закрашиваются лаком или краской соответствующего цвета. При поражении деталей, имеющих металлопокрытия, они очищаются и покрываются смазкой.

Чтобы исключить коррозию приборов при хранении, производится их герметизация с применением влагопоглотителей. Для герметизации применяются чехлы (мешки) из полиэтиленовой пленки.

Дозиметрические приборы закладываются в чехлы без укладочных ящиков. В стандартный чехол размером 70 × 53 *см* размещает-

ся ДП-63-А — пять, ДП-2 — три, ДП-12 — два, ДП-23-А — по одному комплекту. Для поглощения влаги в один стандартный чехол закладывается 740 *г* силикагеля, который расфасовывается непосредственно перед зачехлением аппаратуры.

Техническое обслуживание приборов в процессе длительного хранения проводится один раз в год: проверяется их состояние, удаляются следы коррозии и пыль; проверяется градуировка. Одновременно производится переконсервация, а также проверяется количество поглощенной влаги силикагелем. Если силикагелем поглощено влаги больше 23% первоначального его веса, то силикагель заменяется на высушенный.

Полиэтиленовый чехол, в котором хранился прибор, вскрывается отрезанием тонкой полоски у сварного шва. После технического обслуживания и переконсервации прибор укладывается в чехол, у которого разрезанный край вновь заваривается.

О проделанной работе по техническому обслуживанию и переконсервации производится запись в формуляре.

При снятии приборов с хранения техническое обслуживание сводится к удалению консервационной смазки и чистке.

§ 6. Контроль за техническим состоянием дозиметрических приборов

Контроль за соблюдением правил эксплуатации, техническим состоянием и содержанием (уходом и сбережением) приборов является важнейшим условием обеспечения их постоянной исправности, готовности к использованию и продления срока службы. Контроль осуществляется в ходе повседневной эксплуатации командирами всех степеней, и в первую очередь непосредственными начальниками тех военнослужащих, за которыми закреплены приборы. При эксплуатации приборов командир обязан проверять, знают ли солдаты, за которыми закреплены приборы, их устройство, умеют ли работать с прибором и правильно его обслуживать.

Контроль за техническим состоянием приборов производится путем проведения технических осмотров и технических проверок, целью которых является установление готовности приборов к использованию, а также в проверке комплектности и соблюдении правил ухода, сбережения и хранения прибора.

Контрольные технические осмотры проводят все должностные лица, в ведении которых находятся приборы. Так, командир отделения (расчета) обязан осматривать приборы, находящиеся в эксплуатации, по окончании повседневного технического обслуживания, химический инструктор-дозиметрист — не реже одного раза в неделю, командир взвода — не реже одного раза в две недели, командир роты — не реже одного раза в месяц, командир батальона — не реже одного раза в два месяца, начальник химической службы полка — не реже одного раза в три месяца. При контрольном техническом осмотре опечатанная электрическая схема при-

бора, находящегося в эксплуатации, не вскрывается; проверяется наличие и состояние имущества комплекта, производится наружный осмотр, проверяется работоспособность приборов, а также наличие и состояние эксплуатационной документации, правильность ведения технического формуляра и листа повседневного учета работы прибора.

Если при осмотре выявлены недостатки в техническом состоянии и содержании аппаратуры, они немедленно устраняются, т. е. проводится техническое обслуживание приборов. Объем технического обслуживания определяет начальник, проводивший осмотр.

Техническая проверка приборов, находящихся в эксплуатации, проводится два раза в год в ходе планового периодического технического обслуживания, а приборов, находящихся на складах и базах, по следующим нормам: при приеме приборов на склады — 10% всего поступления; при длительном хранении на центральных, окружных складах и складах соединений — один раз в год 100%, при отправке со склада на склад или в часть — 10%, а в случае, если с момента предыдущей проверки прошло более шести месяцев, — то 100% отправляемых приборов. Если обнаружится, что 10% отправляемых со склада приборов имеют дефекты, то проверке подвергаются все приборы. Для проведения технической проверки назначается комиссия из лиц, хорошо знающих приборы, методику их проверки, а также правила эксплуатации и содержания.

Техническая проверка приборов включает их контрольный технический осмотр и проверку градуировки. Кроме того, в ходе проверки комиссия определяет, соблюдаются ли годовые нормы эксплуатации, межремонтные сроки* и выполняются ли требования руководства по техническому обслуживанию. Результаты проверки объявляются в приказе командира соединения (части) с указанием технического состояния приборов, недостатков в эксплуатации и содержании приборов, конкретных мероприятий по устранению отмеченных недостатков, а также мер по улучшению эксплуатации и содержания приборов. После объявления результатов работы комиссии все лица, ответственные за состояние приборов, обязаны принять меры к устранению указанных недостатков.

---

* Нормы межремонтных сроков эксплуатации приборов даны в приложении 1 Руководства по техническому обслуживанию войсковых дозиметрических приборов и приборов химической разведки, изд. 1966 г.

Глава III

ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

§ 1. Категорирование приборов и виды ремонта

По техническому состоянию дозиметрические приборы делятся на пять категорий:

— 1-я категория — новые приборы, не бывшие в эксплуатации и отвечающие требованиям основных технических данных;

— 2-я категория — приборы, находящиеся на складах и в эксплуатации, исправные или требующие текущего ремонта;

— 3-я категория — приборы, требующие среднего ремонта;

— 4-я категория — приборы, требующие капитального ремонта;

— 5-я категория — приборы, восстановление которых невозможно или нецелесообразно.

В соответствии с этим ремонт войсковых дозиметрических приборов разделяется на три вида: текущий, средний и капитальный. Вид ремонта, необходимого для восстановления прибора, определяется по его техническому состоянию, характеру неисправностей и объему работ по их устранению.

Текущий ремонт (устранение внешних механических повреждений без вскрытия и разборки схемы прибора, чистка, удаление коррозии, окраска) осуществляется в подразделениях личным составом, за которым закреплены дозиметрические приборы.

Средний ремонт (замена неисправных деталей, устранение повреждений в монтаже, регулировка и градуировка прибора) производится в мастерских частей и подразделений химических войск, а также в ремонтных органах окружных, армейских и фронтовых химических складов специально подготовленными мастерами и техниками.

При **капитальном ремонте** прибор полностью разбирается, заменяются узлы монтажа с последующей электрической регулировкой. Такой ремонт осуществляется в мастерских окружных (фронтовых) химических складов, а также в ремонтных органах центральных баз силами мастеров и инженерно-технического состава.

§ 2. Организация ремонта

Приборы с неисправностями, которые не могут быть устранены в подразделениях, сдаются в ремонтную мастерскую части (подразделения) химических войск или в мастерские окружных складов и центральных химических баз.

В качестве руководящего документа для указанных ремонтных органов изданы Технические условия на средний и капитальный ре-

монт дозиметрических приборов (ТУ № 3927) и руководства по среднему ремонту для каждого прибора. В них предусмотрены технология ремонта, объем и последовательность контрольно-проверочных испытаний отремонтированной аппаратуры.

Перед отправкой в ремонт приборы очищаются (дезактивируются), комплектуются согласно формуляру или описи комплекта. Некомплектные приборы в ремонт не принимаются. Приборы, отправляемые в ремонт на окружные и центральные базы, снимаются с учета подразделения, перед отправкой консервируются и упаковываются в тару, обеспечивающую сохранность их при транспортировке. Направляемые из подразделения в ремонтный орган приборы в качестве сопроводительного документа должны иметь выписку из акта осмотра технической комиссией части; в ней указываются неисправности сдаваемых приборов и предполагаемый вид ремонта.

Начальник мастерской принимает в ремонт только укомплектованные приборы; в процессе осмотра и проверки работоспособности приборов он определяет объем ремонта. После этого начальник мастерской делает соответствующие записи в Книге учета ремонта приборов.

§ 3. Обнаружение и устранение неисправностей

Работа по устранению дефектов прибора начинается с технического обследования. При этом выявляются участки схемы с нарушенным электрическим режимом работы, а затем определяются неисправные цепи и детали.

Наиболее сложно обнаружить неисправность, вызванную старением детали, ухудшением изоляции, изменением параметров деталей. Трудность отыскания подобных неисправностей объясняется наличием большого числа взаимосвязанных цепей и деталей, вследствие чего неисправность в одном узле часто вызывает изменение режима работы другого узла или повреждения других деталей.

Техническое обследование позволяет в первую очередь выявить аномальное поведение индикаторов прибора (микроамперметра, тиратронов и др.) в различных положениях переключателя и после этого решить, в каких каскадах или участках схемы нарушен режим работы. Распространенным также является метод проверки режимов питания ламп, счетчиков и других элементов схемы; сравнивая измерения с режимной картой напряжений в различных точках схемы, можно сделать вывод о месте неисправности. После выявления узла схемы прибора с нарушенным режимом работы производится уточнение неисправностей цепи и определяются поврежденные детали.

Заменив деталь, необходимо убедиться в восстановлении правильного режима работы данного узла и затем переходить к выявлению следующей неисправности. Заменять детали можно лишь на

те, параметры которых удовлетворяют условиям спецификации данной схемы. О произведенной замене начальник мастерской делает запись в графе технического формуляра «Средний (капитальный) ремонт».

§ 4. Профилактическая проверка монтажной схемы

После восстановления работоспособности прибора устраняются различные механические дефекты. Тщательно осматриваются переменные резисторы с неустойчивыми контактами, зажимы с ослабленными пружинами, переключатели с плохой фиксацией и т. д. Детали с ограниченным сроком службы (электронные лампы, газоразрядные счетчики и др.) подвергаются контролю с помощью измерительной аппаратуры. Кроме того, определяется качество резиновых прокладок, герметизация прибора, производится чистка, продувка сущ а монтажной схемы.

Гулировка электрического режима работы прибора

Важным этапом в ремонте электрической схемы прибора является электрическая регулировка режимов и восстановление электрических характеристик прибора. Соответствие нормам технических условий определяется исправностью элементов схемы и номинальными величинами напряжений на электродах детекторов излучения, на электронных, газонаполненных и других приборах.

Специфические особенности схем дозиметрических приборов не дают возможности разработать единый способ регулировки электрического режима. Для различных дозиметрических приборов используются частные методики регулировки режима, предусмотренные в инструкциях по электрической регулировке дозиметрических приборов (ТУ № 3927, 1967 г.) или в руководствах по ремонту приборов.

§ 6. Контрольно-технические испытания прибора

Средний и капитальный ремонты дозиметрических приборов являются сложными технологическими процессами, которые включают разнообразные механические, электромонтажные, измерительные и градуировочные операции.

Высокое качество ремонта обеспечивается правильной технологией производственных процессов, квалифицированным выполнением регулировочных операций, систематическим техническим контролем на различных этапах ремонтных работ и проведением контрольно-проверочных испытаний отремонтированных приборов. Эти работы в ремонтных мастерских выполняют сотрудники технического

контроля (ОТК). В том случае, когда система контроля не предусмотрена штатом мастерской, качество ремонта контролирует начальник мастерской.

Выпускаемые из ремонта приборы должны соответствовать требованиям технических условий (ТУ № 3927) или руководства по ремонту прибора. В ТУ определен перечень, содержание и способы выполнения контрольно-проверочных испытаний.

После контрольно-проверочных испытаний прибор комплектуется, в его формуляр вносятся соответствующие записи и он сдается представителю воинской части, о чем делается запись в Книге ремонта.

§ 7. Организация надзора за электроизмерительными приборами

Электроизмерительные приборы подлежат обязательной периодической поверке и поверке после ремонта. Профилактические осмотры, поверки и регулировки, своевременное устранение обнаруженных дефектов удлиняют срок службы измерительных приборов и обеспечивают необходимую точность измерений.

В промышленных центрах для поверки приборов имеются специализированные лаборатории и мастерские; войсковые части обслуживают выездные поверочные лаборатории. Сроки периодических поверок устанавливают ведомства и органы Государственного комитета стандартов и измерительных приборов при Совете Министров СССР. Электроизмерительные приборы поверяются в соответствии с инструкциями этого комитета.

Прибор может быть допущен к поверке и эксплуатации, если он не имеет неисправностей, которые могли бы повлечь погрешности в измерении или дальнейшее повреждение прибора. К ним прежде всего относятся: трещины корпуса или кожуха, а также нарушения герметизации между ними, через которые внутрь прибора может проникнуть пыль; трещины в стекле или неплотное крепление в кожухе прибора; грязь на шкале или видимой части механизма; потускневшая или разбитая зеркальная полоса на шкале прибора; посторонние предметы или отсоединяющиеся детали внутри прибора; неисправность механического корректора; невозможность регулировки и установки стрелки в нулевое положение.

Поверка прибора состоит из внешнего осмотра, установления механической и электрической исправности и определения основной погрешности прибора. Если после внешнего осмотра, испытания электрической прочности изоляции и определения времени успокоения указателя прибора не обнаружены неисправности, препятствующие нормальной эксплуатации прибора, то определяют основную погрешность прибора.

Электроизмерительные приборы классов 0,5; 1; 1,5; 2,5 и 4 поверяются путем сопоставления показаний поверяемого прибора. Например, показания поверяемого вольтметра сличают с показаниями

более точного вольтметра, принятого за эталон; показания эталонного прибора при этом принимают за действительные значения измеряемой величины. Электроизмерительные приборы высоких классов точности (0,05; 0,1 и 0,2) поверяются путем сравнения их показаний с мерами данной величины. Например, показания поверяемого вольтметра сравнивают при помощи потенциометра с образцовой мерой эдс — нормальным элементом, показания омметра сравнивают с образцовыми мерами сопротивления.

Поверка приборов производится либо на специализированных поверочных установках, либо при помощи собираемой для этой цели электрической схемы. Схемы поверки электроизмерительных приборов и условия ее проведения установлены соответствующими инструкциями Государственного комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР. Выбранная электрическая схема и ее составные элементы должны удовлетворять ряду общих требований.

Эталонные приборы должны отличаться от поверяемых лучшим метрологическим качеством; нельзя приборы с более высокими метрологическими показателями, например магнитоэлектрические, поверять по приборам с худшими метрологическими показателями, например электромагнитными. Верхний предел измерения образцового прибора желательно иметь таким же, как у поверяемого прибора; во всяком случае он не должен превышать предел измерения поверяемого прибора более чем на 25%. Допускаемая погрешность образцового прибора, как правило, должна быть не менее чем в три раза меньше допускаемой погрешности поверяемого прибора. Например, для поверки прибора класса точности 2,5 не следует применять в качестве образцового прибор класса 1, так как в этом случае отношение допустимых погрешностей образцового и поверяемого прибора меньше трех; в качестве образцового прибора для поверки прибора класса 2,5 нужно взять прибор класса 0,5.

Приборы должны поверяться на всех делениях шкалы при их нормальном положении, при отсутствии внешних магнитных и электрических полей, а также близко расположенных ферромагнитных масс и при температуре окружающего воздуха в пределах 18—25° С. Приборы классов точности 1; 1,5; 2,5 и 4 поверяют после предварительного прогрева в течение 15 *мин* номинальным током. Основной погрешностью приборов указанных классов точности считают наибольшую из всех погрешностей, найденных при плавном уменьшении и увеличении измеряемой величины.

Глава IV

ГРАДУИРОВКА ВОЙСКОВЫХ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

§ 1. Общие положения

Градуировкой войсковых дозиметрических приборов называется приведение показаний приборов в соответствие с истинным, точным значением измеряемой величины. Делается это в связи с тем, что точность показаний дозиметрических приборов, находящихся в эксплуатации или содержащихся на складе, с течением времени уменьшается. Это объясняется изменением величин сопротивлений резисторов, характеристик электронных ламп, загрязнением изоляторов, т. е. ухудшением параметров и номинальных величин некоторых деталей вследствие длительной эксплуатации в условиях воздействия различных климатических факторов. Кроме того, снижение точности измерений может наблюдаться после ремонта дозиметрических приборов, в частности после смены газоразрядных счетчиков, электронных ламп и других элементов схемы. Причиной ухудшения точности измерений является также несоблюдение правил содержания, хранения и эксплуатации приборов.

Различают проверку градуировки и восстановление градуировки дозиметрических приборов. Проверка градуировки приборов производится при периодическом техническом обслуживании; восстановление градуировки — заключительная операция среднего и капитального ремонта.

Проверкой и восстановлением градуировки дозиметрических приборов занимаются стационарные и подвижные мастерские на гамма-установках, имеющих Свидетельство об обязательной проверке. Свидетельство выдается на аттестованные гамма-установки и бета-источники окружными поверочными лабораториями; к нему прилагаются градуировочные таблицы (табл. 10), с помощью которых определяются расстояния от источника до центра детектора проверяемого прибора, соответствующие проверяемым мощностям доз.

Градуировка проверяется путем сравнения показаний прибора с данными, полученными при аттестовании гамма-установки. Если погрешность превышает установленные пределы, градуировка восстанавливается с помощью специальных регулировок «Чувствительность», предусмотренных конструкцией данного прибора. При этом показания прибора приводятся в соответствии с истинным значением измеряемой величины. Нумерация регулировочных резисторов «Чувствительность» в описанных ниже частных методиках градуировки дозиметрических приборов дается по схемам, рассмотренным в четвертом разделе.

Таблица 10

ГРАДУИРОВОЧНАЯ ТАБЛИЦА (Приложение к Свидетельству № ———)

Годы	Месяцы	Уровни радиации в опорных и контрольных точках																				
		Рентгенов в час												Миллирентгенов в час								
		20	10	3,5	3,0	2,0	1,5	1,4	1,0	0,75	0,5	0,35	0,3	0,1	30,0	20,0	10,0	5,0	4,0	3,5	2,0	0,3	0,25	0,1
19——г.	Январь — февраль — март	Расстояние от центра радиоактивного источника до центра детектора в сантиметрах																				
	Апрель — май — июнь																					
	Июль — август — сентябрь																					
	Октябрь — ноябрь — декабрь																					
19——г.	Январь — февраль — март																					
	Апрель — май — июнь																					
	Июль — август — сентябрь																					
	Октябрь — ноябрь — декабрь																					
	Источники: Co^{60}	$a = 400$ *мк*													$a = 10$ *мк*						$a = 0{,}1$ *мк*			

Проверку произвел

§ 2. Периодичность градуировки

Градуировка дозиметрических приборов проверяется в процессе их эксплуатации при периодическом техническом обслуживании, как правило, два раза в год (приборов, содержащихся на складах,— один раз в год); градуировка дозиметров ДК-0,2 проверяется один раз в три месяца.

При выдаче приборов со складов в подразделения (части) градуировка проверяется в том случае, если после ближайшего контроля прошло более шести месяцев.

§ 3. Радиоактивные источники и препараты для градуировки

Уровень радиации, доза и степень зараженности для градуировки дозиметрических приборов создаются радиоактивными гамма-, бета- и альфа-источниками.

Гамма-источники изготовляются из радиоактивного кобальта-60, имеющего период полураспада 5,3 года и среднюю энергию испускаемых гамма квантов 1,25 *Мэв*.

Отдельный гамма-источник представляет собой стержень из радиоактивного кобальта, вставленный в цилиндрический алюминиевый патрон (ампулу). Ниша в ампуле, в которую закладывается источник, закрывается мастикой и завинчивается крышкой. Ампула хранится в свинцовом контейнере (рис. 185). На нижней части ампулы имеется кольцо для извлечения ампулы из гнезда контейнера; на ней же выгравирована примерная активность гамма-источника. Толщина стенок контейнера выбирается так, чтобы мощность дозы на поверхности его не превышала 10 *мр/ч*. Сверху контейнер имеет прилив с нарезкой, на который навинчивается заглушка.

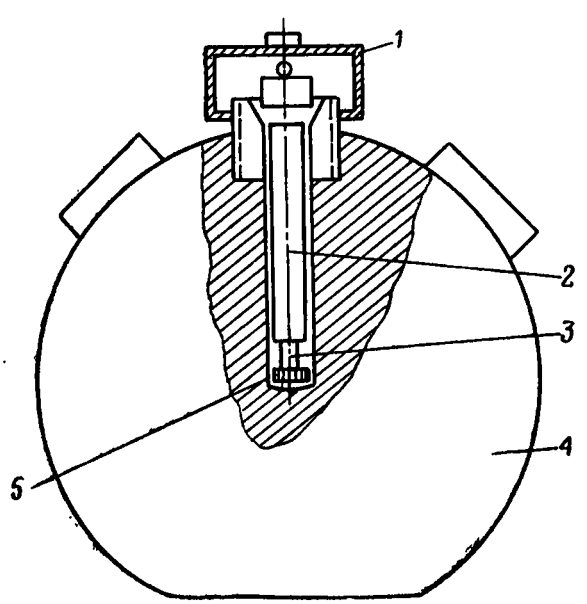


Рис. 185. Контейнер с ампулой:
1 — крышка; *2* — заглушка; *3* — ампула с источником; *4* — свинцовый контейнер; *5* — накидная гайка

В комплект ремонтных мастерских входит три гамма-источника с примерной первоначальной активностью: № 1 — 400 *мк*, № 2 — 10 *мк* и № 3 — 0,1 *мк*. Со временем активность гамма-источников падает; минимальная активность источников, обеспечивающих проверку градуировки дозиметрических приборов в подвижных ремонтных мастерских, составляет соответственно 300, 6,6 и 0,066 *мк*. Источник № 1 применяется для гамма-градуировки индикаторов, рентгенметров и комплектов индивидуальных дозиметров, реги-

стрирующих дозу облучения до 50 *р*; источники № 2 и 3 используются для гамма-градуировки радиометров.

Бета-активные препараты изготовляются преимущественно из стронция-90, находящегося в радиоактивном равновесии с иттрием-90. Период полураспада данного препарата определяется распадом стронция-90 и равен 27,7 годам. Максимальная энергия бета-частиц, испускаемых веществом препарата, соответствует максимальной энергии бета-частиц иттрия-90, которая равняется 2,2 *Мэв*.

Препарат характеризуется поверхностной бета-зараженностью в телесном угле 4π и определяется количеством бета-распадов, происходящих в минуту на одном квадратном сантиметре поверхности.

Несколько препаратов различной зараженности составляют комплект. Каждый из них имеет паспорт с указанием радиоактивного вещества, номера препарата, величины первоначальной зараженности и даты ее определения.

Альфа-активные препараты изготовляются из изотопа плутония-239, имеющего период полураспада 24 000 лет и энергию испускания альфа-частиц, равную 5,1 *Мэв*.

Препарат, предназначенный для градуировки альфа-радиометра, представляет собой алюминиевую подложку размером 49×90 *мм* с активным пятном диаметром 24 *мм*. Он характеризуется поверхностной альфа-зараженностью в телесном угле 4π и определяется количеством альфа-распадов, происходящих в минуту на одном квадратном сантиметре поверхности.

Комплект альфа-препаратов снабжается паспортом с указанием удельной активности каждого препарата. Альфа-препараты хранятся в деревянных пеналах.

Бета- и альфа-источники используются при ведении радиометрического анализа на декадно-счетной установке ДП-100-АД-М.

Все радиоактивные источники и препараты подвергаются проверке в окружных поверочных лабораториях не реже чем один раз в два года. Войсковые части получают от окружных поверочных лабораторий свидетельство на радиоактивные источники и таблицу для градуировки приборов, составленную на основе показаний контрольного прибора РП-1. В таблице указываются опорные и контрольные точки уровней радиации и соответствующие им расстояния от гамма-источника. Таблица составляется на два года, поквартально; она упрощает работу и повышает точность градуировки дозиметрических приборов.

§ 4. Место для проведения градуировки

Дозиметрические приборы градуируются в сухих отапливаемых помещениях площадью 25—30 *м*^{2} и высотой 2,5—3 *м*. Защитное приспособление и градуировочная линейка (стол) размещаются на удалении не менее 1 *м* от стен, при этом защитное приспособление с целью наименьшего пребывания мастера-дозиметриста в зоне облучения устанавливается ближе к выходу. В соседних помещениях

допускается пребывание людей, если уровень радиации внутри них не превышает 0,3 *мр/ч*. Категорически запрещается проводить градуировку в жилых помещениях (казармах).

При температуре воздуха 15—25° С в сухую погоду и отсутствии пылеобразования градуировку можно производить на открытой ровной площадке размером 30 $м^2$, вблизи нее не должно быть зданий или массивных предметов. Площадка выбирается не менее чем на 50 *м* от мест постоянного пребывания людей.

Во время градуировочных работ в помещении, где они производятся, и на площадке нельзя находиться посторонним лицам. Рабочее место для проведения градуировки не должно быть в сфере действия источников радиоактивных помех (рентгенустановок) и посторонних радиоактивных излучателей.

§ 5. Гамма-установка

Проверка и восстановление градуировки войсковых дозиметрических приборов проводится на гамма-установках стационарных и подвижных мастерских.

Гамма-установка состоит из источников гамма-излучения, размещенных в контейнере, и линейки с кареткой для установки и перемещения детектора дозиметрического прибора. В некоторых стационарных установках перемещается гамма-источник относительно неподвижного детектора дозиметрического прибора; в этом случае установка имеет устройство для подъема, спуска и фиксации гамма-источника в подвижном держателе, дистанционную систему управления и сигнализации. В комплекте гамма-установки имеется вспомогательное устройство, обеспечивающее безопасность работы при отсчете показаний прибора. Полевая гамма-установка оборудуется защитным коробом и перископом.

Конструкция каретки градуировочной линейки обеспечивает совмещение центров детекторов дозиметрических приборов с линией отсчета и жесткое их фиксирование. Ошибка при отсчете расстояний от центра гамма-источника до центра детектора проверяемого прибора не должна превышать 5 *мм*.

§ 6. Опорные и контрольные точки. Регулятор «Чувствительность»

Проверка градуировки дозиметрической аппаратуры производится в двух точках каждого поддиапазона. Такие точки устанавливаются двух типов: опорные и контрольные (в рентгенах в час или миллирентгенах в час).

Опорные точки шкалы соответствуют обычно 70—80% от верхнего предела проверяемого поддиапазона прибора; в этих точках в случае необходимости регулируются показания прибора. Регуляторами восстановления градуировки прибора в опорных точках служат обычно переменные резисторы-шунты к микроамперметру, их называют регуляторами чувствительности.

Контрольные точки шкалы соответствуют примерно 25—40% от верхнего предела проверяемого поддиапазона прибора; в этих точках проверяется погрешность показаний прибора без использования органов регулировки. После установки необходимых показаний положение регуляторов фиксируется затяжной гайкой или закрашивается.

§ 7. Методика проверки и восстановления градуировки войсковых дозиметрических приборов. Погрешность измерений

Методика проверки градуировки приборов сводится к сравнению показаний контролируемого прибора с показаниями образцового прибора РП-1, с помощью которого составляются градуировочные таблицы или графики. Градуировочные таблицы (графики) прилагаются к Свидетельству об обязательной проверке при аттестовании гамма-установок и бета-источников.

По градуировочной таблице для данного срока градуировки определяют расстояния R от гамма-источника до детектора прибора для выбранной мощности дозы P. Установив детектор прибора на заданном расстоянии R, производят отсчет показаний прибора P_i и сравнивают это показание с величиной P (опорной или контрольной точки) из градуировочной таблицы. Вид погрешности, определяемой при проверке градуировки, зависит от конструктивных особенностей прибора. Различают погрешности абсолютную Δ_a, относительную Δ_o и приведенную $\Delta_п$.

Абсолютная погрешность каждого показания равняется

$$\Delta_a = |P - P_i| \ р/ч, \tag{180}$$

где P — мощность дозы в контрольной или опорной точках, по которой проводилось определение расстояния R;

P_i — измеренная прибором мощность дозы при установке его на расстояние R (*см*) от источника.

Относительная погрешность — это отношение абсолютной погрешности к измеряемой величине (в процентах):

$$\Delta_o = \frac{\Delta_a}{P} \cdot 100. \tag{181}$$

Приведенная погрешность — это отношение абсолютной погрешности к полному значению шкалы проверяемого поддиапазона прибора $P_{макс}$ (в процентах):

$$\Delta_п = \frac{\Delta_a}{P_{макс}} \cdot 100. \tag{182}$$

Пример. Дозиметрический прибор градуируется на поддиапазоне «2 *р/ч*» в опорной точке $P = 1{,}5$ *р/ч*. При градуировке прибор показывает 1,4 *р/ч*.

Решение:
Абсолютная погрешность:

$$\Delta_a = 1{,}5 - 1{,}4 = 0{,}1 \ р/ч.$$

Относительная погрешность:

$$\Delta_o = \frac{0{,}1}{1{,}5} \cdot 100 = 6{,}7\%.$$

Приведенная погрешность:

$$\Delta_п = \frac{0{,}1}{2{,}0} \cdot 100 = 5\%.$$

Максимально допустимая приведенная погрешность измерения прибора $\Delta_п = \pm 10\%$. Следовательно, погрешность контролируемого прибора не превышает установленных норм по техническим условиям.

Если в отдельных проверяемых точках погрешность превышает допустимую, то производится восстановление градуировки. Для этого прибор устанавливается на расстояние R, которое соответствует опорной точке P_i и корректирующими регулировками данного поддиапазона показания прибора приводятся в соответствие с мощностью дозы P (т. е. $P_i = P$); затем, не изменяя положения регулятора, проверяют показания прибора в контрольной точке. Это показание не должно выходить за пределы допустимой погрешности, указанной в ТУ № 3927 для каждого прибора.

§ 8. Меры радиационной безопасности

Личный состав, выполняющий работы в хранилищах и по градуировке дозиметрических приборов, систематически подвергается действию ионизирующих излучений радиоактивных веществ. Предупредить нежелательные последствия воздействия этих излучений на организм можно лишь при такой организации работ, при которой внутреннее и контактное облучение полностью исключается, а внешнее облучение снижается до минимума.

Радиационная безопасность личного состава обеспечивается при строгом и неуклонном выполнении правил работы с радиоактивными материалами, веществами и источниками ионизирующих излучений в частях и учреждениях Министерства обороны СССР, которые определяют условия работы и устанавливают нормы предельно допустимых облучений и радиоактивных загрязнений.

К работе с радиоактивными веществами и ионизирующими излучениями допускаются лица, ознакомленные с этими правилами, прошедшие медицинский осмотр при частях (гарнизонных госпиталях) и получившие соответствующие инструкции и указания. Очередные медицинские освидетельствования проводятся не реже одного раза в год. При ухудшении состояния здоровья отдельных лиц

они проходят внеочередное освидетельствование распоряжением начальника медицинской службы части.

При систематическом облучении дозиметристов в мирное время предельно допустимая доза гамма-излучения за рабочую неделю составляет 100 *мр*. Лицо, получившее предельную дозу излучения (100 *мр*) в середине недели, не привлекается к работе с излучателями до начала следующей недели.

В помещениях, предназначенных для ежедневного шестичасового пребывания дозиметристов, уровень гамма-радиации не должен превышать 2,3 *мр/ч*; в смежных помещениях у поверхностей стен, потолков и пола уровень гамма-радиации должен быть не выше 0,2 *мр/ч*.

Основными мерами, с помощью которых можно обеспечить радиационную безопасность лиц, работающих с излучателями, являются максимальное удаление от излучателя, предельное сокращение или уменьшение времени пребывания личного состава в зоне облучения и вблизи контейнера с гамма-источником, применение защитных стенок из плотных материалов между излучателями и людьми.

При подготовке и проведении градуировочных работ личный состав обязан быстро переносить укладку с контейнером, при развертывании защитного приспособления контейнер с источником доставлять в последнюю очередь, а при свертывании — выносить в первую очередь. Кроме того, нельзя находиться без надобности в непосредственной близости от укладки с контейнером, садиться на нее, вынимать рукой ампулу с источником из контейнера и прикасаться к поверхности ампулы. Запрещается свинчивать накидную гайку, расположенную в нижнем торце алюминиевой ампулы источника (см. рис. 185). Поднимать из контейнера ампулу с источником активностью 300—400 *мк* можно только с помощью подъемного устройства, находясь за защитным коробом, и на минимальное время.

Источники и препараты должны извлекаться из контейнеров или пеналов только для осмотра, перекладки или градуировки приборов. Время перекладки или осмотра должно быть предельно коротким. Гамма-источники активностью выше 0,1 *кюри* извлекаются из контейнеров щипцами с удлиненными ручками; гамма-источники меньшей активности разрешается извлекать, применяя для этого длинный пинцет. Альфа- и бета-препараты извлекаются из пеналов руками (с надетыми резиновыми перчатками) за накатанный бортик.

Следует аккуратно обращаться с источниками, оберегать от повреждений алюминиевую фольгу, не бросать их и беречь от влаги. Во время работы нельзя подносить источники близко к глазам. По окончании работы препараты размещают в пеналах активной стороной вверх и с помощью радиометра проверяют зараженность рабочих мест, спецодежды, обмундирования, рук.

Личный состав обязан строго выполнять правила личной радиационной гигиены: при градуировочных работах надевать халат из хлопчатобумажной ткани, перед уходом на перерыв и после работ мыть руки водой с мылом. В градуировочном помещении и в хранилищах запрещается есть, пить, курить и хранить пищевые продукты. Лица, работающие с радиоактивными источниками, должны иметь при себе исправные и заряженные индивидуальные дозиметры ДК-0,2.

§ 9. Проверка градуировки индикаторов

Градуировка индикаторов ДП-63-А и ДП-63 проверяется в следующих точках: на поддиапазоне «1,5 *р/ч*» — контрольная точка 0,5 *р/ч*, опорная точка 1,4 *р/ч*; на поддиапазоне «50 *р/ч*» — контрольная точка 10 *р/ч*, опорная точка 20 *р/ч* *. Расстояние между центрами источника и датчика прибора должно быть не менее 15 *см*.

Допустимые пределы погрешности измерений индикаторов приведены в табл. 11.

Таблица 11

ПРЕДЕЛЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ИНДИКАТОРОВ

Поддиапазон	Уровни радиации, *р/ч*		Допустимые показания индикатора, *р/ч*
	опорные точки	контрольные точки	
«1,5 *р/ч*»	1,4		0,95—1,5
		0,5	0,05—0,95
«50 *р/ч*»	20		5—35
		10	До 25

Для проверки градуировки прибор необходимо вынуть из футляра, подготовить к работе, положить на каретку шкалой к защитному коробу так, чтобы красная точка на корпусе (центр газоразрядных счетчиков) располагалась в центре каретки. Каретку установить на расстоянии, соответствующем опорной точке, а затем контрольной. Упор в трубе для дистанционного подъема источника закрепить так, чтобы излучатель при поднятой ампуле находился на одной горизонтали с риской на корпусе индикатора, указывающей расположение газоразрядных счетчиков СИ-10БГ и СИ-11БГ.

* Здесь и далее изложены требования к градуировке приборов на гамма-установках в подвижных ремонтных химических мастерских. В стационарных ремонтно-градуировочных мастерских (РГМ) должны быть проверены все поддиапазоны приборов согласно требований инструкции по эксплуатации.

С помощью специальной скобы кнопка «1,5 *р/ч*» («50 *р/ч*») фиксируется в нажатом состоянии. Гамма-источник поднимается, и оператор, наблюдая в перископ, снимает показания прибора на каждой опорной и контрольной точках и записывает эти данные в рабочую тетрадь. После каждого замера источник немедленно опускается.

Если погрешность измерений не выходит за допустимые границы (табл. 11), следует подсчитать ее для каждой точки и записать ь формуляр. В случае если погрешность выше допустимой, необходимо восстановить градуировку. Для этого прибор извлекается из корпуса, ось переменного резистора *22* или *21* (рис. 145) поворачивается на угол 10—15°, затем прибор устанавливается в корпус и производится прикидочное облучение. Повторяя данную операцию, необходимо добиться совпадения показаний прибора с истинным значением мощности дозы в опорных точках. Показания в контрольных точках не должны выходить за пределы допустимой погрешности.

Результаты восстановления градуировки записываются в формуляр. Прибор опечатывается.

§ 10. Проверка градуировки рентгенметра ДП-2

Проверка градуировки рентгенметра ДП-2 проводится только на поддиапазоне «2» в точках 0,5 *р/ч* и 1,5 *р/ч* (опорная). Допустимые пределы погрешности измерений ($\Delta_п = \pm 10\%$) приведены в табл. 12. На поддиапазонах «20» и «200» прибор проверяется толь-

Таблица 12

ПРЕДЕЛЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ РЕНТГЕНМЕТРА ДП-2

Поддиапазон	Уровни радиации, *р/ч*	Допустимые показания рентгенметра, *р/ч*
«2»	0,5	0,3—0,7
	1,5	1,3—1,7

ко на работоспособность. Расстояние от источника до прибора при градуировке должно быть не менее 45 *см*.

Градуировка проверяется следующим образом.

Прибор устанавливается на каретку градуировочной трассы шкалой к защитному коробу так, чтобы центр ионизационной ка-

меры (желтые вертикальные линии на корпусе прибора) находился в центре каретки. Упор в трубе для дистанционного подъема излучателя закрепляется так, чтобы поднятый источник находился на середине корпуса рентгенметра. Прибор готовится к работе на поддиапазоне «2».

По градуировочной таблице для точек 0,5 *р/ч* и 1,5 *р/ч* мастер-дозиметрист определяет расстояния от детектора прибора до источника излучений и устанавливает каретку градуировочной трассы на эти расстояния.

Показания прибора снимаются наблюдением в перископ при поднятом источнике и записываются в рабочую тетрадь. В тех случаях, когда показания рентгенметра превышают допустимые пределы погрешности измерений (табл. 12), необходимо произвести восстановление градуировки прибора. Для этого, установив каретку на расстоянии, соответствующем опорной точке 1,5 *р/ч*, следует поднять источник и, наблюдая в перископ и вращая регулятор чувствительности — резистор *16* (рис. 150), довести показания прибора до 1,5 *р/ч*, после чего опустить источник. Если резистором *16* это сделать не удается, следует извлечь прибор из корпуса, отвернуть контргайки, повернуть ось резистора *7* на 10—15° и произвести прикидочное облучение. Повторяя данную операцию, добиться показаний прибора 1,5 *р/ч* и проконтролировать показания в точке 0,5 *р/ч*.

После регулировки прибора на градуировочной трассе производят регулировку положения диафрагмы внутреннего препарата так, чтобы при нажатой кнопке «Препарат» на поддиапазоне «2» прибор показал 1,5 *р/ч*. С этой целью вращают винт, расположенный на приливе ионизационной камеры со стороны электрометрического блока.

После регулировки диафрагмы внутреннего препарата следует проверить работоспособность прибора на поддиапазонах «20» и «200». Для этого прибор снимают с каретки и устанавливают вплотную к трубе подъемника; поднимая источник и наблюдая в перископ, оператор убеждается в работоспособности прибора.

Результаты проверки градуировки на поддиапазоне «2» и работоспособности прибора на поддиапазонах «20» и «200» записывают в формуляр. Прибор опечатывают.

§ 11. Проверка градуировки бортовых рентгенметров

Проверка градуировки бортовых рентгенметров (ДП-3-Б и ДП-3) проводится в следующих точках: на поддиапазоне «×1»—0,5 и 0,75 *р/ч* (опорная), на поддиапазоне «×10» — 3 *р/ч*. На поддиапазонах «×100» и «500» приборы проверяются только на работоспособность. Допустимые пределы погрешности измерений приведены в табл. 13. Расстояние между источником и выносным блоком должно быть не менее 35 *см*.

Таблица 13

ПРЕДЕЛЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ БОРТОВОГО РЕНТГЕНМЕТРА

Поддиапазоны	Уровни радиации, *р/ч*	Допустимые показания рентгенметра, *р/ч*
«×1»	0,50	0,35—0,65
	0,75	0,60—0,90
«×10»	3,0	2,0—4,0

Градуировка прибора проверяется следующим образом.

Прибор подготавливают к работе при напряжении питания 12 *в*; кабель питания присоединяют к аккумуляторам с соблюдением полярности. Проверяют работоспособность прибора.

Измерительный пульт устанавливают за защитным коробом, а выносной блок на градуировочную каретку так, чтобы боковые зажимы упирались в торец блока, а белая полоса на цилиндре (центр ионизационной камеры) совместилась с центральной линией. Если длина соединительного кабеля не позволяет расположить пульт за защитным коробом, а выносной блок в требуемой точке, следует удалить последние звенья градуировочной линейки, а оставшуюся часть линейки и контейнер с источником придвинуть к коробу на расстояние, позволяющее произвести градуировку.

Источник поднимают и проверяют показания прибора в указанных точках. Следует иметь в виду, что отклонение стрелки измерительного прибора на поддиапазоне «×1» происходит не сразу после подъема источника, а через 30—40 *сек* после начала облучения.

Градуировка восстанавливается при снятой задней стенке измерительного прибора с помощью резисторов *47* (рис. 162) и *49* (рис. 165).

Если показания прибора в проверяемых точках не превышают допустимых пределов погрешности, необходимо проверить работоспособность рентгенметра на поддиапазонах «×100» и «500» и записать данные проверки градуировки в формуляр.

§ 12. Проверка градуировки радиометра-рентгенметра ДП-5-А

Градуировка радиометра-рентгенметра ДП-5-А проверяется на поддиапазонах «200», «×1000» и «×100» с помощью источника № 1 и на остальных поддиапазонах — с помощью источников № 2 и № 3 (см. § 3 данной главы).

При градуировке чувствительных поддиапазонов гамма-фон в месте градуировки не должен превышать 0,01 *мр/ч*. На всех поддиапазонах, кроме первого, расстояния до радиоактивного источника отсчитываются от оси зонда, на поддиапазоне «200» — от оси счетчика, размещенного в пульте. Линия оси этого счетчика обозначена Т-образными рисками на боковых поверхностях корпуса

пульта, а центр счетчика отмечен знаком «+» на выступающей части корпуса. Расстояние между источником и датчиком должно быть не менее 15 *см*.

Для проверки градуировки на поддиапазоне «200» прибор устанавливают на каретке градуировочной трассы и подготавливают к работе. Перемещая каретку с прибором, на каждой указанной в градуировочной таблице точке поднимают источник, снимают и записывают показания. Затем источник опускают.

Если показания превышают допустимую погрешность (табл. 14), необходимо восстановить градуировку. Для этого прибор извлекают из корпуса и путем регулировки резистором *38* (рис. 169) на опорной точке добиваются соответствующего показания. После установления показаний в опорной точке каретку с прибором перемещают на расстояние, соответствующее контрольной точке, и проверяют показания прибора на допустимый разброс.

Аналогично прибор градуируется на поддиапазонах «×1000» и «×100». Органами регулировки в этих случаях являются резисторы *39* и *40* (соответственно); пределы погрешности указаны в табл. 15.

Таблица 14

ПРЕДЕЛЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОМЕТРА-РЕНТГЕНМЕТРА ДП-5-А

(На первом поддиапазоне)

Поддиапазон	Уровни радиации, *р/ч*		Допустимый разброс показаний, *р/ч*
	опорная точка	контрольная точка	
«200»	20		13—27
		10	0—20

Проверка градуировки прибора на поддиапазонах «×10», «×1» и «×0,1» производится следующим образом. Градуировочную линейку оборудуют кронштейном для крепления источника с малой активностью (№ 2 или № 3). Контейнер с источником относят на расстояние, обеспечивающее уровень фона $P \leqslant 0{,}01$ *мр/ч*. Зонд крепят в центре каретки, пульт прибора ставят на линейку между кареткой и перископом шкалой к защитному коробу, экран зонда — в положение «Г». Прибор включают на градуируемом поддиапазоне. Из контейнера вынимают ампулу с источником и быстро вставляют в кронштейн так, чтобы источник совпадал с осью линейки. Через установленное техническими данными прибора время производят отсчет и запись показаний. После этого ампулу с источником быстро убирают в контейнер. Вычисляют погрешность. Если погрешность превышает допустимые пределы, указанные в табл. 15, производят восстановление градуировки регулировкой резисторов *41, 42* и *43*, добиваются в опорной точке поддиапа-

Таблица 15

ПРЕДЕЛЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОМЕТРА-РЕНТГЕНМЕТРА ДП-5-А

(На всех поддиапазонах, кроме первого)

Поддиапазон	Уровни радиации, *мр/ч*		Допустимый разброс показаний, *мр/ч*
	опорные точки	контрольные точки	
«×1000»	3500	1000	2275—4725 650—1350
«×100»	350	100	227—472 65—135
«×10»	30	10	20—40 6,5—13,5
«×1»	3,5	2	2,3—4,7 1,3—2,7
«×0,1»	0,3	0,1	0,2—0,4 0,065—0,135

зона показаний прибора: 30 *мр/ч* («×10»), 3,5 *мр/ч* («×1»), 0,3 *мр/ч* («×0,1»).

Затем следует проверить показания прибора в контрольных точках. Погрешности измерений в этих точках не должны превышать допустимые пределы.

Результаты измерений записывают в формуляр.

§ 13. Проверка градуировки радиометра-рентгенметра ДП-5

Проверка градуировки прибора ДП-5 в рентгенметрическом режиме производится с помощью источника № 1 в следующих точках (табл. 16).

Таблица 16

ПРЕДЕЛЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРА ДП-5 В РЕНТГЕНМЕТРИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Поддиапазоны	Уровни радиации, *р/ч*		Допустимые показания прибора, *р/ч*
	опорные точки	контрольные точки	
«0,5»	0,35	0,1	0,24—0,45 0,07—0,13
«5»	3,5	1,0	2,4—4,5 0,65—1,35
«200»	20	10	13—27 6,5—13,5

Прибор в радиометрическом режиме проверяется с помощью источников № 2 и № 3 в следующих точках (табл. 17).

Таблица 17

ПРЕДЕЛЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИИ ПРИБОРА ДП-5 В РАДИОМЕТРИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Поддиапазоны	Уровни радиации, *мр/ч*		Допустимые показания прибора, *мр/ч*	Допустимые показания прибора, деления шкалы
	опорные точки	контрольные точки		
«×1»	0,3	0,1	0,21—0,39	450—900
			0,07—0,13	150—250
«×10»	3,5	2	2,45—4,55	530—1000
			1,4—2,6	300—550
«×100»	30	10	21—39	500—800
			7—13	180—320

Величина гамма-фона в месте проведения градуировки не должна превышать 0,01 *мр/ч*. Расстояние между источником и прибором во время градуировки должно быть не менее 15 *см*.

Прибор без футляра устанавливают на градуировочной линейке: датчик закрепляют на каретке так, чтобы центр его совместился с центром каретки; пульт прибора ставят на линейку между датчиком и перископом шкалой к защитному коробу, экран — на датчике в положение «Г». Прибор подготавливают к работе. Перемещая каретку с датчиком, на каждой указанной в градуировочной таблице точке поднимают источник и записывают показания.

Если показания превышают допустимую погрешность, необходимо восстановить градуировку. Для этого прибор извлекают из корпуса и путем регулировки резисторов на соответствующих опорных точках добиваются показаний прибора 0,35; 3,5 и 20 *р/ч* соответственно на поддиапазонах «0,5, «5» и «200». При градуировке поддиапазона «200» расстояние до источника отсчитывается не от датчика, а от пульта (место, отмеченное черным крестом). Показания прибора подгоняют путем последовательного прикидочного облучения, сопровождаемого изменением величин резисторов.

После установки показаний прибора в опорной точке проверяют его показания от источника в контрольной точке данного поддиапазона. Записав все данные по градуировке, рассчитывают погрешность измерений в каждой точке.

Проверка градуировки прибора на поддиапазонах «×100», «×10» и «×1» производится следующим образом.

Начало градуировочной линейки оборудуется кронштейном для крепления малого источника (№ 3 или № 2). Прибор устанавливают на каретке: датчик закрепляют в центре каретки, а пульт ставят на каретку со стороны фиксатора шкалой вверх. Каретку пе-

ремещают на заданное расстояние. Прибор подготавливают к работе на данном поддиапазоне. Точки 0,1 *мр/ч* и 0,3 *мр/ч* проверяют по источнику № 3, остальные точки — по источнику № 2. Из контейнера вынимают ампулу с источником и быстро вставляют в кронштейн так, чтобы источник был на оси линейки. Через 45 *сек* снимают показания прибора и записывают в тетрадь. Затем каретку перемещают на следующую точку данного поддиапазона и отсчитывают показания. После этого ампулу с источником быстро убирают в контейнер. Используя градуировочную таблицу для данного поддиапазона, определяют, какому уровню радиации соответствует показание прибора и не выходит ли это показание за пределы допустимой погрешности.

Если показание вышло за пределы погрешности, необходимо восстановить градуировку. Для этого по градуировочным графикам поддиапазонов «×1», «×10» и «×100» определяют деления шкалы, соответствующие величинам уровней радиации в опорных точках, и допустимый разброс показаний прибора в контрольных точках. Прибор извлекают из корпуса и градуируют по вышеописанной методике с помощью переменных резисторов.

Если при установленных уровнях радиации в опорных точках уровни радиации в контрольных точках не выходят за допустимые пределы погрешности измерений, оси переменных резисторов закрепляют контргайками, прибор укладывают в корпус, закрепляют и опечатывают.

Результаты измерений и рассчитанные погрешности в каждой точке записывают в формуляр прибора.

§ 14. Проверка градуировки комплектов индивидуальных дозиметров ДП-23-А и ДП-22-В

Перед проверкой градуировки комплекта индивидуальных дозиметров необходимо проконтролировать исправность зарядно-измерительного устройства и суточный саморазряд дозиметров. За 24 *ч* саморазряд не должен превышать 1,5 *р* для дозиметров ДС-50 и 4 *р* для дозиметров ДКП-50-А.

Градуировка дозиметров проверяется по гамма-источнику № 1 в контрольной точке 12 *р*.

По данным градуировочной таблицы, составленной при аттестовании гамма-установки, строится график зависимости мощности дозы от расстояния между детектором и источником ионизирующих излучений (рис. 186) на день градуировки. По этому графику для расстояния от источника до ионизационной камеры $R=25$ *см* определяется мощность экспозиционной дозы P (*р/ч*). По формуле $t=\frac{D}{P}$ вычисляется время облучения ионизационной камеры для набора экспозиционной дозы $D=12$ *р*.

Например, по градуировочному графику определено, что на расстоянии $R = 25$ *см* мощность дозы от данного гамма источника равна 15 *р/ч*. Следовательно, время облучения ионизационной камеры равно

$$t = \frac{12\ р}{15\ р/ч} = 0{,}8\ ч = 48\ мин.$$

Зарядно-измерительное устройство подготавливают к работе. Заряжают 50 дозиметров ДКП-50-А и устанавливают их в гнезда градуировочного стола (рис. 187). Дозиметрист поднимает источ-

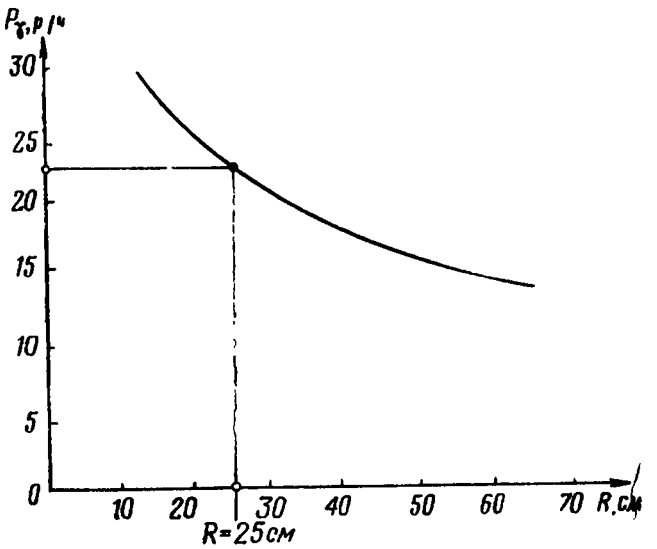


Рис. 186. График зависимости мощности дозы P от расстояния между детектором и источником ионизирующих излучений

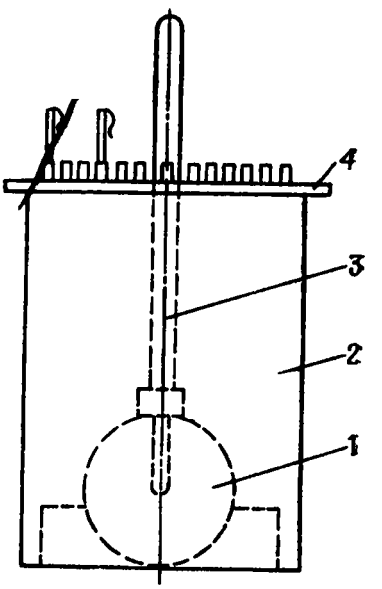


Рис. 187. Рабочее место для градуировки дозиметров:

1 — контейнер с источником ионизирующих излучений, *2*—укладка с контейнером; *3* — направляющая труба; *4* — градуировочный стол

ник и записывает время начала облучения, находясь за защитным коробом. После этого, закрепив трос, оператор покидает зону облучения. По истечении расчетного времени источник опускают, дозиметры ДКП-50-А извлекают из гнезд и на их места устанавливают заряженные на зарядно-измерительном устройстве 50 дозиметров ДС-50, которые облучают в том же порядке.

Облучение, полученное дозиметрами ДС-50, измеряется на зарядно-измерительном устройстве, а доза, полученная дозиметрами ДКП-50-А, определяется визуально. Дозиметры с погрешностью измерений, выходящей за пределы 4,5—19,5 *р*, отправляются в ремонт. Если у большинства дозиметров погрешность превышает допустимую, нужно проверить зарядно-измерительное устройство и повторить градуировку.

Результаты проверки градуировки записываются в формуляр комплекта.

§ 15. Проверка градуировки прямопоказывающих дозиметров ДК-0,2

Дозиметры ДК-0,2 проверяют один раз в год на недельный саморазряд в облученном состоянии. Проверка градуировки дозиметров производится один раз в три месяца.

Перед проверкой градуировки и саморазряда дозиметры выдерживают в течение 6 *ч* в сушильном шкафу при температуре 50° С. Прежде чем уложить дозиметры в сушильный шкаф, их протирают чистым спиртом и отвертывают нижние колпачки. После просушки дозиметры заряжают на зарядно-измерительном устройстве.

Следует иметь ввиду, что при отделении дозиметра от зарядного гнезда тень от кварцевой нити уходит от нуля. Проверив уход нити, нужно так зарядить дозиметр, чтобы после отделения его от зарядного гнезда тень от кварцевой нити точно совместилась с нулем шкалы.

При проверке на саморазряд заряженные дозиметры выдерживают в вертикальном положении в течение шести суток в сухом помещении при температуре 15—25° С, после чего визуально определяют их показания, представляющие собой недельный саморазряд. Эти величины записывают в формуляр комплекта. Дозиметры с недельным саморазрядом более 10 *мр* для контроля облучения не используют.

Градуировка дозиметров проверяется по гамма-источнику № 2 в контрольных точках 20 и 100 *мр*. В месте градуировки фон гамма-излучения не должен превышать 0,01 *мр/ч*. Допустимые пределы погрешности для ДК-0,2 приведены в табл. 18.

Таблица 18

ПРЕДЕЛЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ДОЗИМЕТРОВ ДК-0,2

Экспозиционная доза гамма-излучения, *мр*	Допустимые пределы показаний, *мр*
20	15—25
100	80—120

Градуировка дозиметров ДК-0,2 проверяется следующим образом. В центральное гнездо контейнера помещают ампулу с источником № 2; к кольцу ампулы привязывают нить, которую пропускают через трубу дистанционного подъема источника. Трубу навинчивают на горловину контейнера, а на укладку ставят градуировочный стол. По градуировочному графику для расстояния $R = 25$ *см* определяется P; по формуле $t = \frac{D}{P}$ рассчитывают время облучения дозиметров для набора экспозиционной дозы $D_1 = 0{,}02\,p$

и $D_2 = 0{,}1$ *р*. Заряженные дозиметры ставят в гнезда градуировочного стола. Источник поднимают и закрепляют в поднятом состоянии. Оператор замечает время подъема источника и выходит из зоны облучения (на удаление 8—10 *м*). По истечении времени облучения источник опускают.

Дозиметры, показания которых превышают допустимые пределы погрешности, из комплекта изымают, а дозиметры, показания которых остаются в пределах нормы, сразу же проверяют на саморазряд. Дозиметры с погрешностью, выше допустимой, и с саморазрядом более 10 *мр* отправляют в ремонт.

Данные градуировки комплекта ДК-0,2 записывают в формуляр.

Глава V

СРЕДСТВА РЕМОНТА И ГРАДУИРОВКИ ВОЙСКОВЫХ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Войсковые дозиметрические приборы ремонтируются на предприятиях Министерства обороны, в стационарных мастерских складов, а также в подвижных ремонтных химических мастерских (ПРХМ) войсковых частей и соединений.

Ниже рассматриваются только ПРХМ войсковых частей и соединений.

§ 1. Подвижная ремонтная химическая мастерская ПРХМ-1

Подвижная ремонтная химическая мастерская типа ПРХМ-1 предназначена для текущего и среднего ремонта в полевых условиях войсковых дозиметрических приборов и средств противохимической защиты, а также для текущего ремонта специальных приборов и машин при ведении периодического технического обслуживания.

Расчет мастерской — четыре человека: начальник (техник-дозиметрист), два мастера (дозиметрист и химик) и шофер. Производительность мастерской по ремонту указанным расчетом 100—125 приборов в месяц.

Мастерская размещается в деревянном утепленном кузове типа КУНГ-2, установленном на шасси автомашины ГАЗ-63. Часть оборудования размещается на одноосном прицепе 1-АП-1,5.

Питается мастерская от сети переменного тока или от бензоэлектрического агрегата, придаваемого мастерской. Для освещения кузова и нагрева паяльников в случае неисправности электростанции используются две аккумуляторные батареи 5-НКН-60 с общим напряжением 12 *в* и селеновый выпрямитель для их зарядки.

В кузове размещены столы для ремонта аппаратуры, запасные детали и материалы, электромонтажный и слесарный инструмент, электроизмерительная аппаратура, верстак, наждак, воздуходувка.

К выносному оборудованию мастерской относятся гамма-установка для градуировки дозиметрических приборов и комплект материалов, оборудования и инструмента для ремонта индивидуальных средств защиты, специальных машин и приборов.

Мастерская комплектуется палаткой с рабочей площадью 16 $м^2$ для развертывания выносных рабочих мест.

Время развертывания ПРХМ-1 без инженерного оборудования не превышает 50—60 *мин.*

§ 2. Подвижная ремонтная химическая мастерская ПРХМ-3

Подвижная ремонтная химическая мастерская ПРХМ-3 предназначена для среднего ремонта в полевых условиях войсковых дозиметрических приборов, индивидуальных средств защиты, специальных машин и приборов.

Мастерская размещена в трех деревянных утепленных кузовах типа КУНГ-1, установленных на шасси автомашины ЗИЛ-164, и в трех прицепах (1-АП-1,5 и 2-ПН-2). Автомашины мастерской имеют следующие назначения: № 1 — для ремонта специальных машин и приборов, № 2 — для ремонта средств противохимической защиты, № 3 — для ремонта и градуировки дозиметрических приборов. На прицепах установлены электростанция, сварочный агрегат и металлический кузов с вспомогательным имуществом.

Расчет мастерской 16 человек, производительность — 200—250 приборов в месяц. Время развертывания мастерской из походного положения в рабочее 2 *ч,* время свертывания 1 *ч* 45 *мин.*

Электропитание мастерской осуществляется от сети переменного тока или от электростанции. Для освещения и нагрева паяльников в автомашине № 3 используется дополнительное электрооборудование, состоящее из аккумуляторов и селенового выпрямителя для их зарядки.

В кузове автомашины № 3 оборудованы столы — рабочие места для ремонта приборов. В ящиках столов размещается вспомогательное оборудование, измерительные приборы, запасные детали, электронагревательные приборы, слесарный инструмент, паяльники. На столах установлены сушильный шкаф, испытатель ламп, выпрямитель.

Рабочее место для градуировки дозиметрических приборов оборудуется вне кузова — за счет использования выносного комплекта гамма-установки и брезентовой палатки размером 2×5 *м.* В палатке устанавливаются градуировочная линейка, стол и источники. В случае необходимости рабочее место обеспечивается электроэнергией посредством соединительного кабеля, подключенного к входному щитку кузова автомашины № 3.

Раздел шестой

ВОЙСКОВОЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Глава I

ОСНОВЫ РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

§ 1. Цели войскового радиометрического анализа

В боевой практике войск контроль радиоактивного заражения личного состава, вооружения, боевой техники, сооружений необходим для решения вопроса о проведении специальной обработки, надевания средств защиты, а для продуктов питания и воды — для установления режимов их потребления.

Определение степени зараженности в боевых порядках войск осуществляется с помощью полевых облегченных дозиметрических приборов — радиометров, допускающих погрешность измерений порядка 30—35%. Такая точность вполне удовлетворяет потребность войск при контроле радиоактивного заражения боевой техники, сооружений, обмундирования и других предметов непосредственно в боевых порядках. Радиометры могут использоваться и для определения годности продуктов питания, пищи, воды, подвергшихся радиоактивному заражению.

Если ошибки, возможные при измерении радиоактивного заражения предметов, не оказывают существенного влияния на боевую деятельность войск, то погрешности, возникающие при контроле пищи и продуктов питания, могут привести к серьезным осложнениям. Поэтому измерение зараженности продуктов питания должно осуществляться с точностью, превышающей точность отсчетов, производимых с помощью радиометров. Такие измерения могут быть произведены в специальной радиометрической лаборатории.

Радиометрические лаборатории оснащены стационарными дозиметрическими приборами — счетными установками и специальным оборудованием для приготовления препаратов из проб материалов, зараженных радиоактивными веществами.

§ 2. Назначение, состав и возможности войсковой радиометрической лаборатории

Радиометрические лаборатории предназначены для определения в полевых условиях степени зараженности продовольствия, воды, фуража, грунта, вещевого и другого имущества. Лаборатории поз-

воляют также получать данные для оценки возраста осколков продуктов деления ядерного взрыва.

Определение зараженности продовольствия, фуража, воды и грунта производится с помощью счетной установки путем измерения активности толстослойных препаратов, приготовленных из продуктов, подвергаемых анализу.

Зараженность обмундирования и снаряжения определяется непосредственно по результатам измерений исследуемых предметов. В этом случае используется радиометр ДП-5-А. Кроме того, радиометр применяется для предварительной оценки зараженности проб, доставляемых в лабораторию для анализа.

Степень зараженности продовольствия и фуража выражается числом бета (альфа)-распадов, происходящих в 1 *мин* в 1 *г* (*расп/мин. г*) или в кюри на килограмм (*кюри/кг*) продукта; воды — числом бета (альфа)-распадов, происходящих за 1 *мин* в объеме 1 *мл* (*расп/мин. мл*) или в кюри на литр (*кюри/л*); грунта, вещевого и другого войскового имущества по гамма-излучению — в миллирентгенах в час (*мр/ч*).

Существуют два вида лабораторий, занимающихся радиометрическим анализом: одни смонтированы в кузовах автомашины и прицепах (АЛ-4), другие — в ящиках-укладках (РЛУ-2), перевозимых на автомобилях (вертолетах). Лаборатория РЛУ-2 может быть использована как самостоятельно, так и совместно с автохимлабораторией АЛ-3.

Методика ведения радиометрического анализа в лабораториях АЛ-4 и РЛУ-2 в комплексе с АЛ-3 не имеет отличий. При самостоятельном использовании РЛУ-2 в ней нельзя проводить анализ проб на альфа-зараженность.

Радиометрическая лаборатория в укладках РЛУ-2 имеет штат из трех человек: начальника, старшего лаборанта и лаборанта. Производительность лаборатории 120 проб воды и других жидкостей или 40—70 анализов проб продуктов питания и фуража за 10 *ч* работы. На дезактивацию имущества перед очередным циклом работ затрачивается 60—90 *мин*.

В состав лаборатории входят: декадно-счетная установка ДП-100-АД-М, радиометр-рентгенметр ДП-5-А, специальное имущество и принадлежности для взятия и обработки проб и приготовления препаратов. Электропитание лаборатории — две аккумуляторных батарей 5-НКН-45К или сеть переменного тока. Имущество сосредоточено в пяти ящиках-укладках.

Лаборатория развертывается на площади около 10—15 $м^2$, в закрытом помещении, обеспечивающем уровень гамма-фона на рабочих местах не выше 20 *мр/ч*. При выборе места для развертывания РЛУ-2 используется прибор ДП-5-А. Время развертывания (свертывания) имущества лаборатории 15—20 *мин*.

Из ящиков-укладок подготавливаются три рабочих места (рис. 188). Ящики пронумерованы. Ящики № 1, 2 и 3 используются для оборудования рабочих мест № 1 и 2, для чего поднимаются двер-

цы ящиков и закрепляются между укладками. Рабочее место № 3 оборудуется с использованием комплекта мебели из укладки № 5.

Рабочее место № 1 обслуживает лаборант, который принимает и регистрирует в Журнале проб продукты, поступающие с зараженного участка. На каждую пробу лаборант заполняет регистрационную карточку, дополняемую затем записями других лаборантов при прохождении пробы через рабочие места.

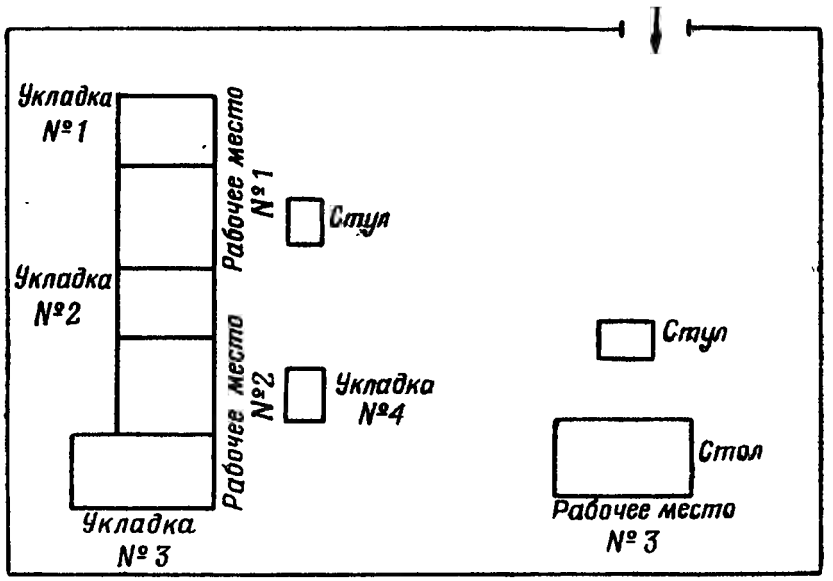


Рис. 188. Схема развертывания РЛУ-2

С помощью прибора ДП-5-А лаборант контролирует радиоактивную зараженность. В случае отсутствия показаний радиометра проба считается чистой; при наличии показаний она подвергается анализу. В зависимости от вида продукта лаборант определяет способ приготовления препарата и производит первичную обработку пробы.

Рабочее место № 1 оснащается футляром для растирания проб, режущим инструментом, аптекарскими весами с разновесами, разделочной доской, высекателем и утрамбователем проб, пинцетами, кюветами для переноски препаратов, металлическими ступками и пестиками. Ступки и пестики нумеруются.

Рабочее место № 2 обслуживает старший лаборант, занимающийся измерением зараженности препаратов на счетной установке ДП-100-АД-М. Кроме того, старший лаборант помогает лаборанту готовить препараты из проб, не требующих предварительной обработки.

На рабочем месте № 2 имеются счетная установка ДП-100-АД-М с принадлежностями, аналитические весы с разновесами, набор нумерованных стандартных алюминиевых ванночек, штамп для изготовления ванночек, стеклянные палочки, шпатель деревянный, миска полиэтиленовая, кювета для переноски проб, письменные принадлежности.

Рабочее место № 3 предназначено для начальника радиометрической лаборатории. По данным, полученным на первых двух рабочих местах и результатам измерений, начальник лаборатории рассчитывает зараженность пробы, на основе чего медицинская служба делает выводы о возможности дальнейшего использования и режиме потребления зараженного продукта.

При работе ночью помещение лаборатории может освещаться от сети переменного тока или от аккумуляторов, хранящихся в укладке № 2.

Весь обслуживающий лабораторию персонал во время работы должен иметь халаты, хирургические перчатки, респираторы Р-2 (марлевые повязки) и дозиметры ДК-0,2. Рабочие столы застилаются клеенкой, двумя слоями фильтровальной бумаги, поверх которой кладется калька.

Радиометрический анализ включает следующие этапы: взятие проб для анализа, приготовление препаратов, расчет удельной активности пробы, дезактивацию.

Глава II

ВЗЯТИЕ ПРОБ ДЛЯ АНАЛИЗА

Пробы для анализа доставляются в лабораторию личным составом подразделений радиационной и химической разведки, продовольственной и вещевой службы, службы горючих и смазочных материалов. В отдельных случаях взятие и доставка проб может возлагаться на лабораторию.

Пробы для радиометрического анализа берутся с помощью принадлежностей и устройств, которыми укомплектован специальный чемодан. В частности, в чемодане находится прибор для взятия гроб воды. Прибор состоит из трех частей: основания с прикрепленным к нему металлическим тросом, цилиндрического стакана и металлической пробки, имеющей для герметичности резиновую прокладку. С помощью этого прибора берутся пробы воды из источников с любых глубин, как правило из двух мест — с поверхности и дна (после предварительного взмучивания придонного слоя). Для взятия пробы на глубине необходимо отмерить длину троса и, придерживая стакан и пробку, опустить в воду основание прибора, стакан, а затем пробку. Проба воды из водопровода отбирается из крана после предварительного спуска воды в течение 5 *мин.* В обоих случаях отбирается 0,5 *л* воды, которая затем сливается в специальную банку.

Для отбора проб грунта используется металлический прямоугольный совок. Ручка его имеет нижние упоры, ограничивающие площадь срезаемого грунта до 25 *см*^{2}. Проба ссыпается в пакет.

Пробы сыпучих пищевых продуктов берутся щупом, представляющим собой тонкую металлическую полую цилиндрическую трубку, оканчивающуюся конусом. На поверхности трубки расположено окно, в которое проникают сыпучие материалы, когда щуп погружается внутрь мешка прорезью вниз, а затем поворачивается. Проба берется из трех мест мешка, причем каждая весом не менее 200 *г*. Если мешки хранятся в штабеле, то желательно брать пробы на нескольких сторонах штабеля, преимущественно обращенных в направлении взрыва. Отобранные пробы ссыпаются в тарные банки или полиэтиленовые мешки.

Пробы мяса, рыбы, хлеба и других твердых пищевых продуктов срезаются ножом с обязательной пометкой внешних поверхностей. Слой не должен быть тоньше 10 *мм*. Общий вес пробы 300—500 *г*. Хлеб (буханка, батон) отбирается из верхнего или поверхностного ряда. Каждая из проб помещается в отдельный пергаментный или полиэтиленовый пакет.

Пробы жидких масел берутся с помощью специального мерника и ложки после предварительного и тщательного перемешивания, а затем сливаются в стеклянные банки.

Пробы вещевого (войскового) имущества вырезаются в виде лоскутов размером 5×10 *см,* на которых обозначается внешняя сторона ткани (материала).

Взятые для анализа пробы маркируются. На этикетках банок, на пакетах указывается вид пробы, место и время взятия, фамилия ответственного лица. Немаркированные пробы на анализ не принимаются.

Глава III

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПРЕПАРАТОВ

§ 1. Виды препаратов

Продукты взрыва представляют собой сложную смесь радиоактивных изотопов с широким энергетическим спектром бета-излучения. Состав продуктов взрыва непостоянен во времени и зависит от вида взрыва. Кроме того, радиоактивные вещества распределены по массе пробы неравномерно. Поэтому перед приготовлением препарата продукт, подлежащий исследованию, тщательно размельчается и перемешивается.

Из доставленных в лабораторию проб в специальных ванночках готовятся толстослойные препараты. Препарат считается толстослойным, если его толща превышает три слоя половинного ослаб-

ления. Толстослойные препараты имеют толщу слоя вещества для исследования на бета-зараженность 10 *мм,* на альфа-зараженность — до 2 *мм.*

Методика анализа при использовании толстослойных препаратов обладает определенными преимуществами: высокой чувствительностью, простотой приготовления препаратов (не надо взвешивать продукты, идущие на приготовление пробы). Недостатки методики: для приготовления препаратов требуется много зараженного продукта, что повышает гамма-фон в помещении лаборатории; кроме того, необходимо тщательно перемешивать материал пробы, чтобы избежать неравномерного ее нанесения в объем ванночки.

Существует два метода измерения активности препарата: относительный и абсолютный. При относительном методе используются эталонные препараты, при абсолютном — зараженность продукта определяется расчетно, на основе измерения скоростей счета.

§ 2. Способы приготовления бета-препаратов

Бета-препараты из проб зараженных материалов готовятся объемными, а из твердых пищевых продуктов (хлеб, мясо, рыба), кроме этого, и поверхностными.

Существуют три способа приготовления препаратов: непосредственно, растиранием (размельчением) и срезанием.

Непосредственно готовятся препараты из проб веществ, не требующих предварительной механической обработки: воды и других жидкостей, масел, мелкозернистых продуктов. Препараты готовятся в алюминиевых цилиндрических ванночках диаметром 40 *мм* и высотой 12 *мм.*

Методом растирания (размельчения) готовятся препараты из проб сыпучих продуктов питания: крупы, сахарного песка, соли, овощей, фуража и т. п. Проба засыпается в ступку и с помощью пестика тщательно размельчается и перемешивается. Такие материалы, как капуста, зелень, сено, трава, измельчаются ножом или ножницами. От приготовленной массы берется навеска в 0,5 *г.* Проба равномерно и тонким слоем наносится на поверхность ванночки для толстослойного препарата. Заполнение ванночек производится в полиэтиленовой миске, транспортировка — в кювете. Дно миски и кюветы выстилается фильтровальной бумагой.

Методом срезания приготавливаются пробы из мяса, свиного сала, рыбы, хлеба и других твердых продуктов питания. Из пробы вырезаются или высекаются два цилиндрических препарата: один — из поверхностного слоя, другой — из внутреннего объема пробы (мякиш хлеба, центр тушки мяса, рыбы). Поверхностные пробы закладываются активной стороной наружу.

Ванночки для препаратов имеют порядковые номера, что исключает ошибки в определении принадлежности пробы при анализе на всех рабочих местах.

§ 3. Приготовление альфа-препаратов

Альфа-препараты готовятся методом сжигания. Это возможно лишь в автолабораториях, имеющих свою электростанцию и необходимое оборудование.

Альфа-препараты готовятся из тех же материалов, что и бета-препараты с той лишь разницей, что последние готовятся из всех доставленных в лабораторию проб, а альфа-препараты из 3—5% проб. Этот процент может быть увеличен для продуктов, поступивших из очага поражения или из близлежащих к месту взрыва районов.

Твердые материалы предварительно взвешиваются и сжигаются в муфельных печах до получения золы серого или белого цвета. Зола взвешивается.

Жидкие пробы сжигаются в сфере активированного березового угля, смоченного этиловым спиртом. Навеска 0,5 *г* угля помещается в муфель, подогреваемый на электрической плитке. В сжигаемую массу постепенно добавляется по 2 *мл* жидкости до испарения; общее количество жидкости не должно превышать 10—20 *мл*. После испарения жидкости уголь измельчается и из половины образованной массы создается препарат.

Альфа-препараты готовятся на цилиндрических подложках диаметром 36 *мм* с высотой бортика 2 *мм*.

Глава IV

СЧЕТНАЯ УСТАНОВКА ДП-100-АД-М

Радиометрические лаборатории комплектуются декадно-счетными установками ДП-100-АД-М, оснащенными двумя детекторами: торцовым счетчиком МСТ-17 (для регистрации бета-излучения) и альфа-датчиком, основанном на сцинтилляционном методе (для регистрации альфа-излучения). Счетчик МСТ-17 помещен в цилиндрический свинцовый домик ДС-000, альфа-счетчик смонтирован в отдельном блоке.

§ 1. Назначение и технические данные установки

Счетная установка ДП-100-АД-М предназначена для определения абсолютной активности исследуемого продукта. С ее помощью измеряется скорость счета N в количестве импульсов в минуту. Относительная погрешность измерения скорости счета при $N = 25\,000$ *имп/мин* составляет от ±5% до ±10%. Установка работоспособна в интервале температур от —10° до +50° С и относительной влажности до 98%.

Установка питается от сети переменного тока 90—250 *в* или от двух аккумуляторов 5-НКН-45К. В последнем случае она может работать в течение 25 *ч.*

Вес имущества полевого варианта комплекта установки 200 *кг,* время подготовки к действию до 10 *мин.*

§ 2. Общее устройство комплекта

В комплект счетной установки ДП-100-АД-М входят: измерительный пульт, свинцовый домик, соединительные кабели, запасные части и принадлежности, комплект алюминиевых ослабляющих диафрагм, три эталонных радиоактивных препарата, набор центрующих колец, полочки для ванночек. Внешний вид измерительного пульта и его передней панели показан на рис. 189.

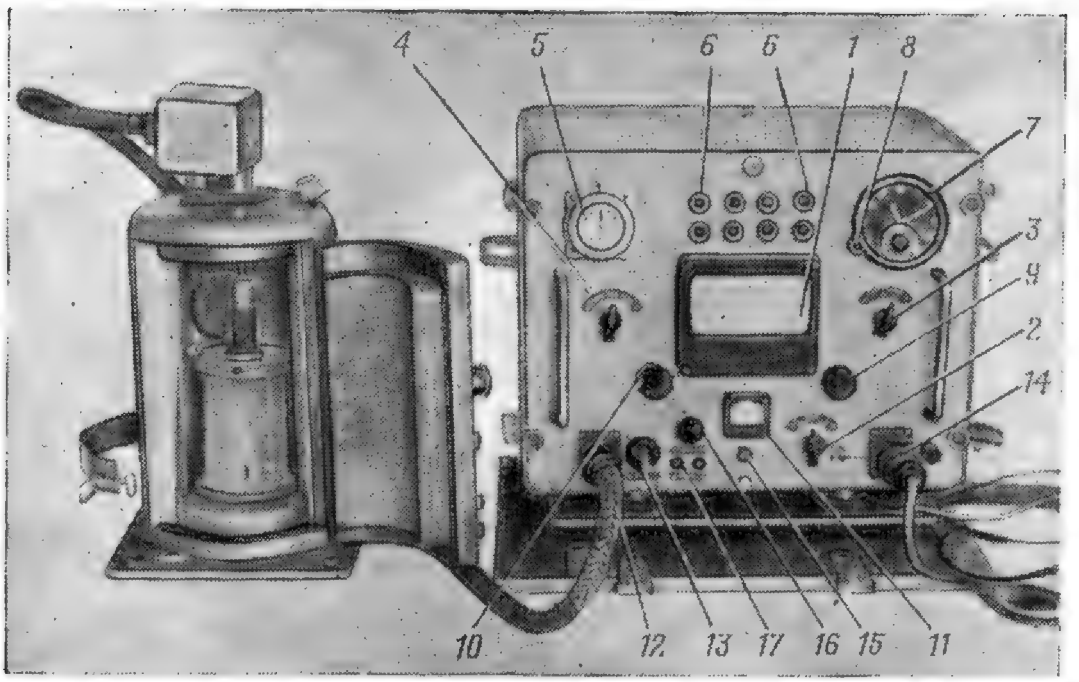


Рис. 189. Счетная установка ДП-100-АД-М:

1 — вольтметр высокого напряжения; *2* — переключатель питания; *3* — переключатель напряжений; *4* — переключатель рода работы; *5* — механический счетчик МЭС; *6* - индикаторные лампы, *7* — часы-секундомер. *8* — кнопка «Пуск»; *9* — регулятор напряжения «Плато»; *10* — регулятор стабильного напряжения «Стаб. 390»; *11* — вольтметр питания; *12* — штепсельный разъем для подключения кабеля БГС; *13* — штепсельный разъем для подключения высоковольтного кабеля «Выс. напр.»; *14* — штепсельный разъем для подключения установки к сети питания, *15* — контрольная неоновая лампочка, *16* — предохранитель, *17* — гнезда для включения выносного механического счетчика

На передней панели пульта расположены: вольтметр высокого напряжения с механическим корректором нуля; переключатель питания на три положения: «Сеть» — используется при питании от сети переменного тока, «Выкл.» — питание выключено, «Акк.» — используется при питании от аккумулятора; переключатель напряжений на три положения: «Стаб. 390», «Предел 500», «Предел 2000»,

с помощью которого на газоразрядные счетчики подается стабилизированное напряжение 390 *в* или нестабилизированное напряжение до 500 или 2000 *в* соответственно; переключатель рода работы на три положения: «Контр.» (производится проверка работы счетного устройства от контрольного генератора), «Раб.» (производится счет импульсов от газоразрядного счетчика), «Пров. ламп» (производится проверка электронных ламп); механический счетчик МЭС с кнопкой сброса показаний. Кроме того, на панели размещены: восемь индикаторных ламп, обозначенных цифрами 1, 2, 4, 8, 10, 20, 40 и 80; часы-секундомер с двумя кнопками: завода часов (красная) и «Пуск»; регуляторы напряжения «Плато» и стабильного на-

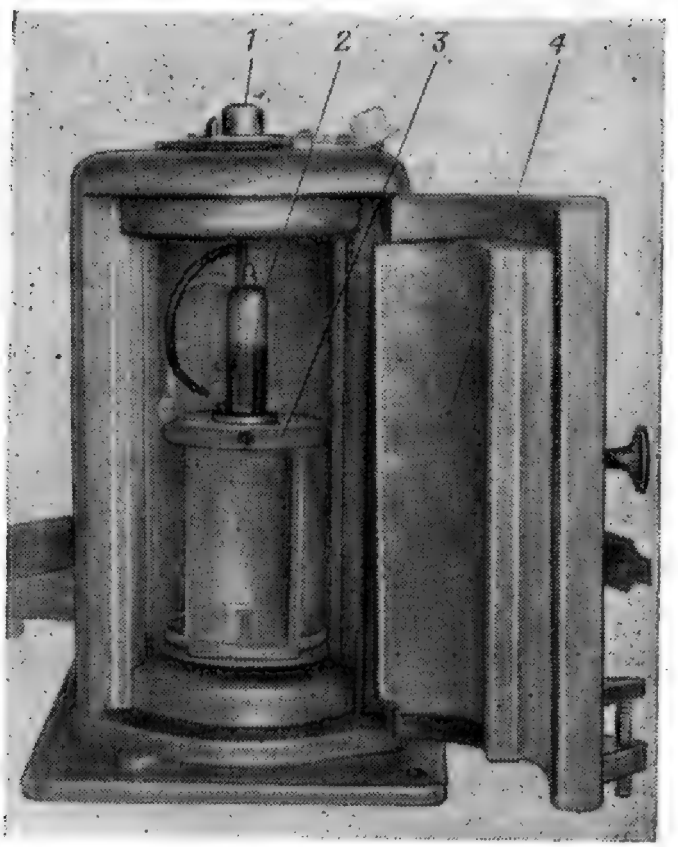


Рис. 190. Свинцовый домик ДС-000:
1 — гнездо разъема БГС; *2* — торцовый счетчик МСТ-17; *3* — этажерка; *4* — дверца

пряжения «Стаб. 390»; вольтметр питания; штепсельные разъемы для подключения кабеля БГС, высоковольтного кабеля «Выс. напр.» и для подключения установки к сети питания с надписью «Питание»; контрольная неоновая лампа; предохранитель; гнезда для включения выносного механического счетчика.

Измерительный пульс через кабели БГС и высокого напряжения связан с домиком ДС-000 (рис. 190). Стенки домика ДС-000 изготовлены из свинца, их внутренняя поверхность облицована алюминием. Внутри домика на «ласточкином гнезде» укреплена этажерка

из органического стекла и имеются электроды для подключения к выводам счетчика. В верхней части этажерки расположен газоразрядный счетчик МСТ-17. Этажерка имеет ряд пазов, в которые вдвигаются полочки и ванночки с исследуемыми препаратами. Верхний паз предназначен для ослабляющей диафрагмы, помещаемой между счетчиком и препаратом.

Электропитание подводится к установке с помощью разъема и кабеля, оканчивающегося разветвлением. На одном из проводов имеется вилка для подключения к сети переменного тока, на другом — два металлических контакта («+» и «—») для присоединения к клеммам аккумуляторной батареи.

§ 3. Подготовка установки к действию

Прежде чем подготовить установку к действию, она осматривается. При осмотре проверяется механическая целостность органов управления и наличие имущества, входящего в комплект. После проверки установка собирается, для чего свинцовый домик соединяется с пультом кабелями БГС и высокого напряжения, а кабель питания подключается в штепсельный разъем «Питание». Внутренняя поверхность свинцового домика протирается ватой, смоченной в спирте.

Включение установки. В зависимости от рода питающего напряжения переключатель питания помещается в положение «Сеть» или «Акк.». В обоих случаях при подключении установки к источнику питания загорается контрольная неоновая лампа. Стрелка вольтметра питания должна находиться в пределах красного сектора.

Проверка ламп. Переключатель рода работы устанавливается в положение «Пров. ламп». Если схема работает нормально, стрелка высоковольтного прибора должна быть на красном секторе шкалы вольтметра. В положении «Пров. ламп» все индикаторные лампы должны загореться.

Проверка соответствия электрического и механического счетов установки. Переключатель рода работы переводится в положение «Контр.» (включается контрольный генератор), нажимается кнопка «Пуск». По истечении 10—15 *сек* установка выключается повторным нажатием на кнопку «Пуск». Вычисляется сумма цифр в окнах горящих индикаторных ламп. Такое же число делений должно быть на шкале механического счетчика (допускается разброс в два деления). После контроля сначала сбрасываются показания механического счетчика, а затем нажимается кнопка «Пуск».

Определение и установка рабочего напряжения. Рабочее напряжение, подаваемое на электроды газоразрядного счетчика, не бывшего в употреблении, определяется из паспорта, прилагаемого к газоразрядному счетчику. При отсутствии паспорта, а также периодически в процессе эксплуатации рабочее напряжение определяется из счетной характеристики газоразрядного счетчика, т. е. из зави-

симости числа импульсов в минуту от величины напряжения на электродах счетчика при постоянстве источника ионизирующих излучений.

Для снятия счетной характеристики переключатель рода работы устанавливается в положение «Работа», переключатель питания — в положение «Предел 2000». В свинцовый домик под газоразрядный счетчик помещается радиоактивный препарат небольшой активности. Напряжение, прикладываемое к электродам газоразрядного счетчика, изменяется регулятором «Плато», который вначале выводится против часовой стрелки до упора. Установка запускается нажатием на кнопку «Пуск». Ручка регулятора «Плато» медленно поворачивается по часовой стрелке до срабатывания установки. В этот момент установку выключают и фиксируют напряжение начала счета U_1. Величина напряжения контролируется по верхней шкале вольтметра высокого напряжения.

Определяется скорость счета N_1, соответствующая напряжению U_1. Затем напряжение увеличивается на 50—100 *в* и для каждого нового значения напряжения определяется скорость счета. Показания снимаются с механического счетчика и с окон горящих неоновых ламп; одно деление шкалы счетчика равно 100 импульсам. Количество малых делений умножается на 100 и к полученному значению прибавляется сумма цифр горящих индикаторных ламп.

Составляется таблица вида:

U, *в*	U_1	U_1+50	U_1+100	U_1+150	. . .
N, *имп/мин*	N_1	N_2	N_3	N_4	

По данным таблицы строится графическая зависимость (счетная характеристика), из которой определяется область «Плато» и рабочее напряжение данного счетчика — величина, отсчитанная от нуля до первой трети области «Плато». Это напряжение устанавливается ручкой «Плато» по верхней шкале высоковольтного прибора.

Измерение естественного фона. После установления величины рабочего напряжения прибор готов к действию. (Переключатель рода работы должен находиться в положении «Работа», переключатель высокого напряжения — в положении «Предел 2000».) Затем вскрывается свинцовый домик и в пазы против красной точки помещается ванночка с чистой водой. Установка включается на 3—5 *мин*. Измеренное число импульсов делится на время работы установки. Полученное значение и есть скорость счета от естественного фона установки ($N_{фон}$), выраженная в импульсах в минуту. Это значение вычитается из всех последующих измерений.

Предельно допустимое значение фона 300 *имп/мин*. Фон определяется через каждые 2 *ч* работы, а при необходимости и чаще.

§ 4. Альфа-датчик (блок АД)

Альфа-датчик (рис. 191) представляет собой цилиндрический блок, закрепленный на кронштейне со стойкой. Под цилиндром имеется кассета, состоящая из неподвижной и подвижной частей; в неподвижной части расположена светозащитная пленка, в подвижной — чашка с исследуемой пробой. При анализе проба подвигается с помощью винта и ручки вплотную к верхней части кассеты. Стойка закрепляется на рабочем столе.

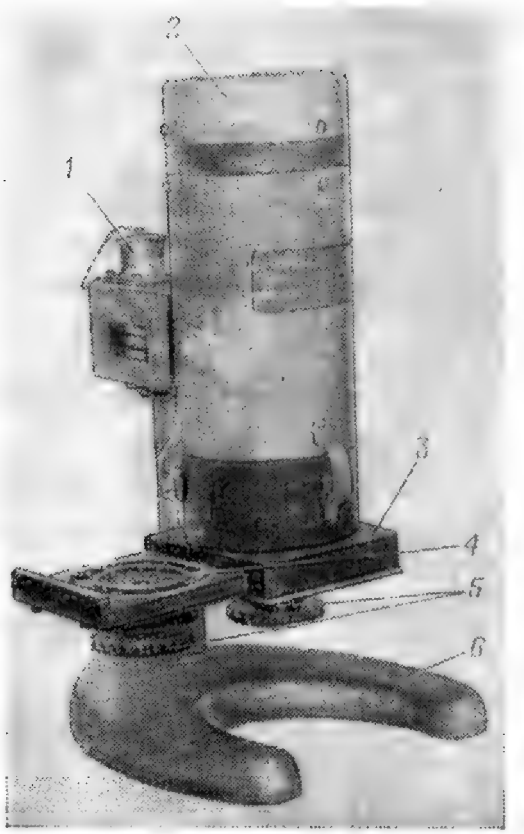


Рис. 191. Альфа-датчик (АД):
1 — гнездо разъема БГС; *2* — корпус ФЭУ-29; *3* — основание кассеты; *4* — подвижная кассета; *5* — подвижные винты; *6* — стойка АД

В верхней, съемной части альфа-блока размещен фотоэлектронный умножитель (ФЭУ-29) с чувствительным элементом, которым служит пластина из сернистого цинка. Сцинтилляции (вспышки), созданные при действии ионизирующих излучений на сернистый цинк, фиксируются фотоэлектронным умножителем. Блок подключается к измерительному пульту кабелем БГС и высоковольтным (КВ) кабелем.

Подготовка счетной установки с альфа-датчиком к действию не отличается от описанной выше. Изменяется лишь методика определения рабочего напряжения и эффективности регистрации фотоэлектронного умножителя ФЭУ-29.

Рабочее напряжение выбирается с помощью эталонных альфа-препаратов № 1 и № 2. Для этого счетная установка присоединяется к блоку альфа-датчика, чашка с контрольным препаратом № 1 (20 тыс. *расп/мин*) помещается под чувствительный элемент, регулятор «Плато» выводится против часовой стрелки до упора, установка запускается. Вращением ручки «Плато» по часовой стрелке определяется напряжение начала счета схемы; при этом напряжении установка работает 20—30 *мин.* Затем к напряжению начала счета прибавляется напряжение, кратное 50 *в,* и для каждого значения определяется скорость счета N.

Составляется таблица вида, приведенного в § 3. По данным таблицы строится графическая зависимость скорости счета (*имп/мин*) от напряжения (*в*), приложенного к электродам ФЭУ-29. Определяется область «Плато», протяженность которой должна быть около 150 *в.* В качестве рабочего напряжения $U_{раб}$ выбирается величина от нуля до первой трети области «Плато».

Затем рабочее напряжение устанавливается по высоковольтному вольтметру ручкой «Плато» и измерительный пульт включается на 3—5 *мин* для определения естественного фона. Естественный фон не должен превышать 5 *имп/мин.*

Эффективность регистрации альфа-частиц фотоэлектронным умножителем определяется по формуле

$$E = 100 \frac{N'}{A'} \text{ имп/расп}, \tag{183}$$

где N' — скорость счета от контрольного препарата № 1, *имп/мин*;

A' — активность контрольного препарата № 1, *расп/мин.*

Эффективность датчика должна быть не менее 20%.

После этого определяется погрешность схемы при измерении больших активностей: эталонный препарат № 2 (A = =200 000 *расп/мин*) помещается в альфа-датчик, измеряется скорость счета N''. Погрешность определяется по формуле

$$N'' \geqslant 0{,}9 \frac{A''}{A'} N'. \tag{184}$$

Поскольку рабочее напряжение для каждого ФЭУ различно, то для его определения следует обязательно снимать счетную характеристику.

Глава V

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОСТИ ИССЛЕДУЕМЫХ ПРЕПАРАТОВ

§ 1. Абсолютный метод определения удельной активности препарата

Активность препарата определяется по формуле (159) как соотношение $\frac{N_0}{\eta}$, где N_0 — скорость счета от препарата, *имп/мин,* а η — эффективность счета.

Эффективность счета η вычисляется по формуле (160) как произведение целого ряда поправочных коэффициентов (значение таких коэффициентов см. в § 2 гл. I второго раздела).

Сделаем некоторые дополнительные пояснения к поправочным коэффициентам.

Измерение активности препарата абсолютным методом производится с помощью толстослойных препаратов и установки с торцовым счетчиком. В этом случае поправкой на эффективность счетчика ε, близкой к единице, можно пренебречь.

Основу спектра излучения толстослойных препаратов составляют бета-частицы, значительно превышающие поток конверсионных

электронов, вылетающих из поверхностного слоя. Такие электроны испускаются атомом при переходе его ранее возбужденного ядра в основное состояние. Поэтому поправкой на схему распада r можно также пренебречь.

Доля рассеянных электронов, отраженных от дна ванночки (подложки), увеличивается с ростом толщины подложки и ее атомного веса. Число рассеянных электронов резко сокращается с увеличением исследуемого слоя. При толщах вещества, принятых при изготовлении толстослойных препаратов, поправку на обратное рассеяние q можно принять равной единице, т. е. ею тоже можно пренебречь.

Из сказанного следует, что основными поправками, существенно влияющими на эффективность счета, являются $K_{сп}$, $K_{ср}$, $K_{п}$ и ω. Каждая из этих поправок имеет свое математическое выражение и определяется по параметрам, характеризующим процесс измерений. К ним относятся: скорость счета, толщина окна газоразрядного счетчика, толщина фильтра, величина слоя половинного поглощения и ряд других.

Коэффициент самопоглощения $K_{сп}$ вычисляется по формуле

$$K_{сп} = \frac{d_ф}{2{,}3d \lg \frac{N_0}{N_ф}}, \qquad (185)$$

где $d_ф$ — толщина диафрагмы (фильтра), применяемая при производстве измерений, *мг/см²*;

d — толщина препарата, *мг/см²*;

N_0 — скорость счета установки непосредственно от препарата, *имп/мин*;

$N_ф$ — скорость счета от препарата, прикрытого фильтром, *имп/мин*.

Поправка на саморассеяние $K_{ср}$ учитывает угловое рассеяние радиоактивных частиц, излучаемых материалом пробы, так как только часть из них попадает в окно счетчика:

$$K_{ср} = 1 + 0{,}8 \cos \frac{\alpha}{2}, \qquad (186)$$

где α — апертурный угол торцового счетчика.

Поправка на поглощение $K_{п}$ введена для коррекции поглощения бета-частиц слоем воздуха между препаратом и счетчиком:

$$K_{п} = \frac{1}{2{,}3\left[\left(\frac{N_0}{N_ф}\right)^{\frac{d_с}{d_ф}} - 0{,}565\right]}, \qquad (187)$$

где $d_с$ — эффективная толщина слоя воздуха и слюды окна счетчика ($d_{сч}$), *мг/см²*; она определяется формулой

$$d_с = (d_{сч} + 2{,}71)\,1{,}04. \qquad (188)$$

Поправка на телесный угол учитывает отношение числа частиц, попавших в рабочий объем счетчика, к общему числу частиц, испускаемых радиоактивным препаратом в телесном угле 4π. Математическое выражение ω включает в себя значения радиусов окна торцового счетчика и препарата и расстояние между ними. Формула для определения поправки на телесный угол имеет сложный вид и здесь не приводится.

Формула для определения эффективности счета после подстановки значений поправочных коэффициентов приобретает вид

$$\eta = \omega K_{ср} \frac{d_ф}{2{,}3 \lg \frac{N_0}{N_ф} d} \cdot \frac{1}{2{,}3 \left[\left(\frac{N_0}{N_ф} \right)^{\frac{d_c}{d_ф}} - 0{,}565 \right]}. \qquad (189)$$

Тогда полная активность препарата $a = \frac{N_0}{\eta}$ определяется по формуле

$$a = \frac{5{,}29 N_0 d \left[\left(\frac{N_0}{N_ф} \right)^{\frac{d_c}{d_ф}} - 0{,}565 \right] \lg \frac{N_0}{N_ф}}{\omega K_{ср} d_ф}. \qquad (190)$$

Удельная активность препарата, выражаемая как частное от деления активности a препарата на его площадь $S[см^2]$ и толщину $d[мг/см^2]$, вычисляется по формуле

$$A = \frac{a}{Sd}. \qquad (191)$$

Раскроем эту формулу. Введем вместо a его выражение:

$$A = \frac{5{,}29 N_0 \left[\left(\frac{N_0}{N_ф} \right)^{\frac{d_c}{d_ф}} - 0{,}565 \right] \lg \frac{N_0}{N_ф}}{S \omega K_{ср} d_ф}. \qquad (192)$$

Преобразуем эту формулу:

$$A = \frac{5{,}29}{S \omega K_{ср}} \cdot \frac{N_0}{d_ф} \left[\left(\frac{N_0}{N_ф} \right)^{\frac{d_c}{d_ф}} - 0{,}565 \right] \lg \frac{N_0}{N_ф}. \qquad (193)$$

Введем обозначения:

$$M = \left[\left(\frac{N_0}{N_ф} \right)^{\frac{d_c}{d_ф}} - 0{,}565 \right] \lg \frac{N_0}{N_ф}; \qquad (194)$$

$$L = \frac{5{,}29}{S \omega K_{ср}}. \qquad (195)$$

Тогда формула (193) примет следующий вид:

$$A = LM\frac{N_0}{d_ф}. \tag{196}$$

Коэффициент M определяется экспериментально при каждом измерении по известным соотношениям $N_0/N_ф$ и $d_c/d_ф$. Методика этих измерений будет показана ниже. Коэффициент L, зависящий от геометрии измерений в стандартных условиях, имеет постоянное значение.

Учитывая постоянство значений коэффициентов M и L для каждого измерения, можно сделать вывод о том, что удельная активность A препарата пропорциональна скорости счета N_0, измеренной непосредственно от препарата, т. е.

$$A = KN_0, \tag{197}$$

где

$$K = L \cdot 10^3 \frac{M}{d_ф}. \tag{198}$$

Величина 10^3 в формулу (198) вводится потому, что удельная активность определяется на грамм вещества.

Усложненный вывод формулы (192) может привести к ошибочному представлению о том, что абсолютный метод измерения удельной активности пробы сложен и требует значительного времени на производство анализа. Что касается практики производства анализов в войсковой радиометрической лаборатории, то для расчетов удельной активности пробы имеются графики значений коэффициентов K, позволяющие точно, легко и быстро получить искомый результат.

§ 2. Определение удельной объемной активности пробы абсолютным методом

Для определения удельной объемной активности счетная установка ДП-100-М подготавливается к действию со счетчиком МСТ-17. В паз этажерки, имеющей красную точку, с помощью палочки помещается ванночка с чистой водой и определяется величина естественного фона $N_{фона}$. Затем ванночка с водой заменяется препаратом. Определяется скорость счета N_0:

$$N_0 = N_0' - N_{фон}\ имп/мин, \tag{199}$$

где N_0' — скорость счета от препарата.

Следует оговориться, что при скоростях счета, больших 12 000 *имп/мин*, вводится поправка τ на разрешающее время установки:

$$\tau = 4{,}5 \cdot 10^{-6} \text{ мин.}$$

Тогда истинная скорость счета $N_{0\,\text{ист}}$ при исследовании препаратов высокой активности будет отличаться от зарегистрированной скорости счета N_0, а именно:

$$N_{0\,\text{ист}} = \frac{N_0}{1 - 4{,}5 \cdot 10^{-6} N_0} \text{ имп/мин.} \qquad (200)$$

Истинная скорость счета может определяться по графику (рис. 192).

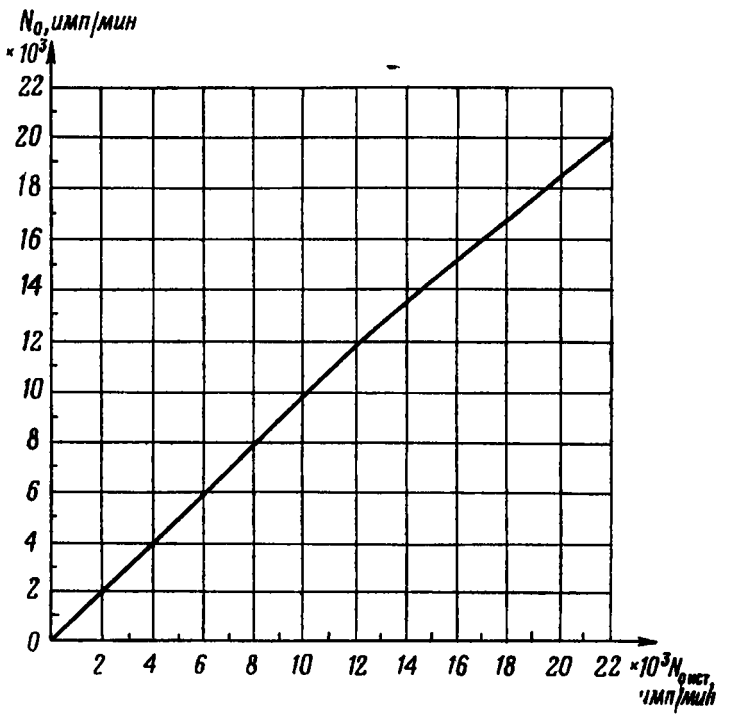


Рис. 192. График зависимости $N_{0\,\text{ист}} = f(N_0)$ для счетчика МСТ-17

Вычисляется приблизительное значение удельной объемной активности A_0 по формуле

$$A_0 = K_1 N_0 \text{ расп/мин} \cdot \text{г (расп/мин} \cdot \text{мл)} \qquad (201)$$

или поскольку 1 *расп/мин · г* $= 4{,}5 \cdot 10^{-10}$ *кюри/кг*

$$A_0 = 4{,}5 \cdot 10^{-10} K_1 N_0 \text{ кюри/кг (кюри/л)} \qquad (202)$$

где K_1 — коэффициент, зависящий от вида пробы, значения которого приведены в табл. 19.

Таблица 19

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА K_1 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА ПРОБЫ

Вид пробы	Коэффициент K_1
Вода и другие жидкости, мелкоизмельченные вещества (мука, манная крупа, сухая горчица и т. п.), хлеб, мясо, рыба, свежие овощи, сено, трава и другие пробы в виде целых кусков	60
Сахарный песок, соль крупного помола, пшено, гречневая, ячневая, перловая крупы, рис, овес и другие пробы, подобные по зернистости	40
Горох и другие пробы, подобные по зернистости . . .	25
Фасоль, сушеные овощи, макаронные изделия и другие крупнозернистые пробы	15

Если полученная величина удельной объемной активности превысит десятикратное значение предельно допустимой активности данного продукта $A_{доп}$, то на этом анализ заканчивается: продукт заражен. Если $A_0 < 10\ A_{доп}$, то измерения продолжаются. В этом случае между исследуемым препаратом и счетчиком помещается фильтр определенной плотности $d_ф$, выражаемой в *мг/см²*. (Набор фильтров с указанием их плотности имеется в комплекте счетной установки.) Включается счетная установка и определяется скорость счета $N_ф$ — от препарата, закрытого ослабляющим фильтром. Толщина фильтра выбирается так, чтобы $N_ф$ по сравнению с N_0 уменьшалась в 1,5—2,5 раза. Фиксируется значение толщины фильтра и скорости счета $N_ф$ за вычетом величины фона $N_{фон}$:

$$N_ф = N'_ф - N_{фои}\ имп/мин, \qquad (203)$$

где $N_ф'$ — скорость счета от препарата с фильтром, *имп/мин*.

На этом измерения заканчиваются. Затем необходимо приступить к расчету объемной активности пробы A_0, которая определяется по формуле

$$A_0 = KN_0\ расп/мин \cdot г\ (расп/мин \cdot мл) \qquad (204)$$

или

$$A_0 = 4{,}5 \cdot 10^{-10} KN_0\ кюри/кг\ (кюри/л), \qquad (205)$$

где K — коэффициент, учитывающий поправки на схему распада, поглощение и рассеяние;

N_0 — скорость счета непосредственно от препарата, *имп/мин*.

Для определения значения коэффициента K следует воспользоваться графиками рис. 193. Коэффициент определяется по известным величинам $d_{сч}$, $d_ф$ и соотношения $N_0/N_ф$. Плотность фильтра указана на его поверхности; толщина слюды окна счетчика известна из паспорта. В случае отсутствия паспорта на счетчик толщина слюды определяется экспериментально.

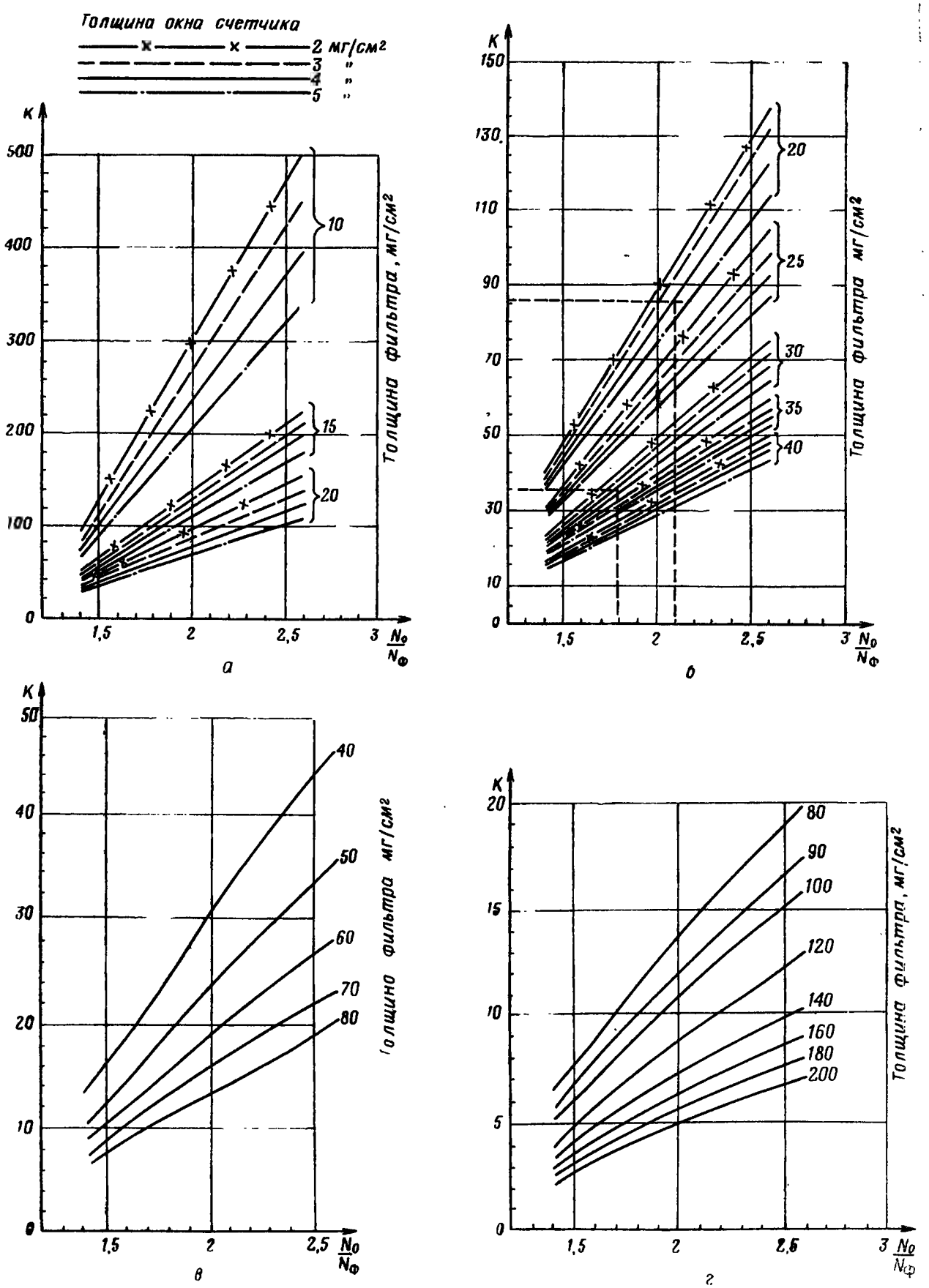


Рис. 193. Графики зависимости $K = f\left(\frac{N_0}{N_\Phi},\ d_{сч},\ d_\Phi\right)$

Пример. На радиометрический анализ доставлена проба гречневой крупы. Анализ проводится на установке ДП-100-М со счетчиком МСТ-17, имеющим толщину слюды $d_{сч} = 4$ *мг/см²*. Приготовлен препарат № 21. Скорости счета: от естественного фона — $N_{фон} = 20$ *имп/мин*, от препарата № 21 — $N_0' = 320$ *имп/мин*.

Р е ш е н и е. Определяется истинная скорость счета от препарата № 21:

$$N_0 = N_0' - N_{фон} = 320 - 20 = 300 \text{ имп/мин}.$$

Вычисляется объемная удельная активность пробы (значение K_1 взято из табл. 19):

$$A_0 = K_1 N_0 = 40 \cdot 300 = 12\,000 \text{ расп/мин} \cdot г$$

или

$$A_0 = 4{,}5 \cdot 10^{-10} K_1 N_0 = 4{,}5 \cdot 10^{-10} \cdot 12\,000 = 0{,}54 \cdot 10^{-5} \text{ кюри/кг}.$$

Допустимое значение удельной активности данного продукта с возрастом осколков деления до 14 дней и с минимальным сроком потребления $A_{доп} = 1{,}2 \cdot 10^{-5}$ *кюри/кг*. Следовательно, $A_0 < 10\ A_{доп}$. Анализ продолжается.

Между препаратом и счетчиком помещается алюминиевый фильтр толщиной $d_ф = 25$ *мг/см²*. Скорость счета от препарата, прикрытого фильтром, оказалась равной $N_ф = 164$ *имп/мин*. Тогда

$$N_ф = N_ф' - N_{фон} = 164 - 20 = 144 \text{ имп/мин}.$$

Вычисляется соотношение $\frac{N_0}{N_ф}$:

$$\frac{N_0}{N_ф} = \frac{300}{144} = 2{,}11.$$

Полученное значение удовлетворяет требованиям, предъявляемым к подбору фильтра.

Рассчитывается удельная объемная активность пробы. Коэффициент K определяется из графика рис. 193, *б* по известным параметрам $\frac{N_0}{N_ф} = 2{,}11$, $d_{сч} = 4$ *мг/см²* и $d_ф = 25$ *мг/см²*; он равен 67. Отсюда

$$A_0 = 4{,}5 \cdot 10^{-10} K N_0 = 4{,}5 \cdot 10^{-10} \cdot 67 \cdot 300 = 0{,}9 \cdot 10^{-5} \text{ кюри/кг}.$$

В ы в о д: продукт заражен меньше предельно допустимой нормы и пригоден для суточного рациона.

§ 3. Абсолютный метод определения удельной поверхностной активности бета-препаратов

Определение удельной поверхностной бета-активности препарата является продолжением анализа, если исследуемая проба имеет твердую оболочку (хлеб, мясо, рыба и т. п.).

Препарат из поверхностного слоя помещают на полочку этажерки свинцового домика и измеряют скорость счета $N_п$:

$$N_п = N'_п - N_{фон} \text{ имп/мин}, \quad (206)$$

где $N_п'$ — скорость счета от препарата, *имп/мин*.

Затем рассчитывают удельную поверхностную активность пробы:

$$A_п = K_2(N_п - N_0) + A_0 \text{ расп/мин} \cdot г \quad (207)$$

или

$$A_п = 4{,}5 \cdot 10^{-10} K_2(N_п - N_0) + A_0 \text{ кюри/кг}, \quad (208)$$

где K_2 — поправочный коэффициент (для хлеба — 5, других продуктов — 2);

N_0 и A_0 — соответственно скорость счета (*имп/мин*) и удельная активность (*кюри/кг*) препарата, ранее исследованного на объемное заражение.

Зная величину удельной объемной и поверхностной активностей пробы, можно сделать вывод о режимах потребления продукта и дать практические рекомендации по обработке его (удаление корковой оболочки хлеба, снятие слоя крупы из тары и т. п.), указать пропорции разбавления зараженной массы незараженной.

Пример. В радиометрическую лабораторию доставлена проба хлеба. Измерения производятся на счетной установке ДП-100-М со счетчиком МСТ-17, имеющим толщину окна $d_{сч} = 5$ *мг/см²*. Скорость счета от фона $N_{фон} = 30$ *имп/мин*. Приготовлены два препарата: № 22 — из мякиша (объемная проба) и № 23 — из коркового слоя (поверхностная проба).

Решение. Скорость счета от препарата № 22:

$$N_0 = 360 - 30 = 330 \text{ имп/мин}.$$

Приблизительная удельная объемная активность пробы (для хлеба $K_1 = 60$):

$$A_0 = 4{,}5 \cdot 10^{-10} K_1 N_0 = 4{,}5 \cdot 10^{-10} \cdot 60 \cdot 330 = 3{,}6 \cdot 10^{-5} \text{ кюри/кг}.$$

Измеряется скорость счета от объемного препарата, прикрытого фильтром $d_ф = 29{,}8 \approx 30$ *мг/см²*:

$$N_ф = 230 - 30 = 200 \text{ имп/мин}.$$

Вычисляется удельная объемная активность пробы. Из графика рис. 193, *б* определяется значение K для следующих параметров: $\frac{N_0}{N_ф}=1{,}8$, $d_{сч}=5$ *мг/см²*, $d_ф=30$ *мг/см²*; он равен 35. Отсюда

$$A_0=4{,}5\cdot10^{-10}KN_0=4{,}5\cdot10^{-10}\cdot35\cdot330=0{,}54\cdot10^{-5}\ кюри/кг.$$

После этого под газоразрядный счетчик помещается препарат № 23 и измеряется скорость счета $N_п$ (*имп/мин*). В рассматриваемом случае

$$N_п=850-30=820\ имп/мин.$$

Рассчитывается удельная активность поверхностного слоя по формуле (208). K_2 для хлеба равен 5. Следовательно,

$$A_п=4{,}5\cdot10^{-10}K_2(N_п-N_0)+A_0=$$

$$=4{,}5\cdot10^{-10}\cdot5\,(820-330)+0{,}54\cdot10^{-5}=0{,}65\cdot10^{-5}\ кюри/кг.$$

Вывод: хлеб заражен по всему объему с удельной бета-активностью $0{,}54\cdot10^{-5}$ *кюри/кг*, и, кроме того, заражен по поверхности так, что слой толщиной в 10 *мм* имеет удельную активность $0{,}65\cdot10^{-5}$ *кюри/кг*. Учитывая возраст продуктов деления ядерного взрыва в обследуемом районе (до 14 дней), хлеб может быть рекомендован для суточного рациона.

§ 4. Ускоренный метод определения бета-активности проб

Этот метод применяется в том случае, когда в кратчайший срок необходимо обработать большое количество проб, значительно превышающее производительность лаборатории по абсолютному методу определения активности толстослойных препаратов.

При ускоренном методе измельчение материала пробы в ступках не производится, а им непосредственно заполняется стандартная ванночка. После определения естественного фона $N_{фон}$ ванночка с пробой помещается в свинцовый домик и измеряется скорость счета N_0 (*имп/мин*) за вычетом $N_{фон}$. Затем рассчитывается приближенное значение объемной удельной активности A_0 по формуле (201) или (202).

При необходимости определения удельной поверхностной активности толстослойный препарат из твердого продукта располагается под счетчиком МСТ-17 и измеряется скорость счета $N_п$.

Заканчивается анализ расчетом удельной поверхностной активности пробы $A_п$ по формуле (207) или (208).

§ 5. Измерение удельной активности альфа-препаратов абсолютным методом

Удельная активность альфа-препаратов определяется в такой последовательности.

Счетная установка ДП-100-АД-М подготавливается к работе; находится значение естественного фона $N_{фон}$; исследуемый препарат помещается под чувствительный элемент альфа-датчика и фиксируется скорость счета от него N_0'; по формуле (199) рассчитывается скорость счета N_0.

После этого рассчитывается удельная альфа-активность A_0:

$$A_0 = 10^3 \frac{N_0}{K_к \psi_{пр}} \; расп/мин \cdot г, \qquad (209)$$

где $K_к$ — коэффициент концентрирования альфа-активных веществ в препарате; для твердых веществ

$$K_к = \frac{\text{вес продукта до сгорания } (г)}{\text{вес золы } (г)},$$

$$\text{для жидкостей } K_к = \frac{\text{объем жидкости } (мл)}{\text{вес угля } (г)},$$

$\psi_{пр}$ — относительная проницаемость для альфа-частиц в препарате (табл. 20).

Таблица 20

ЗНАЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ $\psi_{пр}$ АЛЬФА-ЧАСТИЦ В ПРЕПАРАТАХ

Вещество препарата	$\psi_{пр}$
Обугленные пробы, уголь	3,46
Зола хлеба, мучных продуктов, крупы	5,57
Зола мяса	5,79
Зола рыбы	5,9
Зола свиного сала	5,56
Зола сливочного масла	4,92
Зола картофеля	6,04
Зола квашеной капусты	6,11
Зола фуража и других видов продовольствия	5,7
Сахар	3,59
Соль	5,5

§ 6. Относительный метод измерения удельной бета-активности

Суть относительного метода измерения активности заключается в сравнении двух скоростей счета — от эталонного препарата из хлористого калия известной активности, выраженной в количестве распадов в минуту, и от препарата, подлежащего исследованию.

Метод прост: для получения результата достаточно одно измерение. Однако он имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что в данном случае нельзя создать единый эталонный препарат, воспроизводящий спектр излучения множества проб. Дело в том, что продукты деления имеют различные энергетические характеристики, зависящие от времени, прошедшего после взрыва, т. е. от возраста осколков деления. Создать аналог такому продукту практически невозможно. Кроме того, существенное влияние на точность измерений оказывает различие в толще препарата и эталона, вид материала, из которого изготовлена ванночка, и другие факторы. Все эти обстоятельства приводят к дополнительным ошибкам в определении зараженности пробы. Ошибки, однако, можно избежать, если изготовить препарат из радиоактивных продуктов ядерного взрыва, доставленных для анализа, определить активность этого препарата абсолютным методом и затем использовать его в качестве эталонного.

Относительный метод используется при определении зараженности проб, имеющих удельную активность порядка 10^{-7} *кюри/кг* (*кюри/л*); при этом используются толстослойные препараты.

Порядок проведения работы таков. Первоначально в течение 3—5 *мин* измеряется естественный фон установки ДП-100-М $N_{фон}$ (*имп/мин*), с этой целью под счетчик МСТ-17 помещается ванночка с чистой водой. После этого вместо ванночки с водой устанавливается эталонный препарат из хлористого кальция, а затем исследуемый препарат. Измеряются скорости счета от эталонного $N_э$ и от исследуемого N_0 препаратов за вычетом $N_{фон}$; обе величины имеют размерность *имп/мин*. Анализ заканчивается расчетом удельной зараженности пробы по формуле

$$A_0 = \frac{793 N_0}{N_э} \text{ расп/мин} \cdot \text{г (расп/мин} \cdot \text{мл)} \qquad (210)$$

или

$$A_0 = 3{,}57 \cdot 10^{-7} \frac{N_0}{N_э} \text{ кюри/кг (кюри/л)}, \qquad (211)$$

где 793 — коэффициент пересчета.

Точность анализа повышается, когда в качестве эталонного используется препарат, приготовленный из одной пробы данной партии. Это правомерно, так как все пробы, взятые из одного района, зараженного продуктами ядерного взрыва, имеют одинаковый возраст.

В этом случае анализ проводится в следующем порядке. Сначала измеряется скорость счета установки от естественного фона. Затем по методике, описанной в § 2, определяется удельная объемная активность $A_{0э}$ (*расп/мин* · *г*) препарата, принятого за эталонный. После этого под газоразрядный счетчик помещается ванночка с эталонным препаратом, а вслед за ней — ванночка с исследуемой пробой и измеряются скорости счета от эталонного

препарата $N_{0э}$ и от исследуемого препарата N_0 (за вычетом фона). По найденным величинам рассчитывается удельная объемная зараженность продукта A_0:

$$A_0 = \frac{A_{0э}}{N_{0э}} N_0 \; расп/мин \cdot г \; (расп/мин \cdot мл) \qquad (212)$$

или

$$A_0 = 4{,}5 \cdot 10^{-10} \frac{A_{0э}}{N_{0э}} N_0 \; кюри/кг \; (кюри/л). \qquad (213)$$

§ 7. Определение толщины слюды окна газоразрядного счетчика МСТ-17

Если толщина слюды окна газоразрядного счетчика неизвестна, она может быть определена с помощью специальной методики путем снятия кривой поглощения альфа-частиц слоем воздуха. Для этого в комплекте счетной установки имеется альфа-активный плутониевый препарат, набор кольцевых прокладок различной толщины и приспособление для центровки препарата и колец по оси торцового счетчика.

Работа начинается с измерения величины фона $N_{фон}$. Затем торцовый счетчик располагается на этажерке свинцового домика окном вверх; питание к электродам счетчика с соблюдением полярности подводится от клемм в домике при помощи удлинительных проводов; альфа-активный плутониевый препарат прикрывается специальной диафрагмой и накладывается активной поверхностью на окно счетчика. Измеряется скорость счета N_1 (за вычетом фона). Прибавлением кольцевых прокладок между дном счетчика и диафрагмой препарата последний удаляется от торца счетчика; для каждого случая определяется скорость счета установки. Толщины прокладок и диафрагмы, выраженные в сантиметрах, указаны на их поверхностях. Наращивание столбика из прокладок заканчивается при совпадении скорости счета с величиной естественного фона. Составляется таблица следующего вида:

l воздуха, *см*	0,5	1,0	1,5	. . .
N_1, *имп/мин*				

В таблице l — расстояние от окна счетчика до активного слоя препарата, *см*; N_1 — скорость счета за вычетом фона, *имп/мин.*

По данным таблицы на миллиметровой бумаге в удобном масштабе строится зависимость $N_1 = f(l)$. График имеет вид, показанный на рис. 194. На графике прямолинейный участок зависимости $N_1 = f(l)$ продолжается пунктирной линией до пересечения с осью абсцисс. Отрезок оси, обозначенный на графике $l_{возд}$ — величина

слоя поглощения; это значение подставляется в формулу для определения толщины слоя слюды счетчика МСТ-17:

$$d_{сч} = 1{,}5\,(3{,}68 - l_{возд})\ мг/см^2. \qquad (214)$$

Полученное значение $d_{сч}$ в дальнейшем используется в расчетах по определению удельной объемной зараженности пробы.

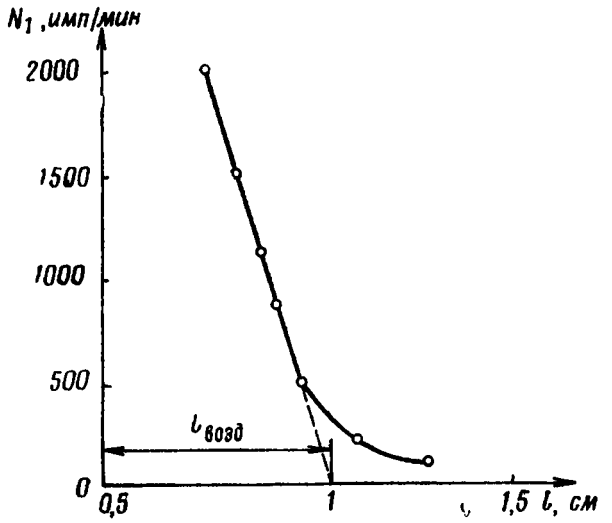


Рис. 194. График зависимости $N_1 = f(l)$

§ 8. Методика построения графика зависимости

$$K = f\left(\frac{N_0}{N_ф} \cdot \frac{d_c}{d_ф}\right)$$

В техническом описании установки ДП-100-АД-М даны зависимости $K = f\left(\frac{N_0}{N_ф};\ d_{сч};\ d_ф\right)$ для определенных значений соотношения $N_0/N_ф$, толщины окна счетчика и толщины фильтра. В комплекте установки могут находиться ослабляющие фильтры, толщина которых не совпадает со значениями, указанными на графиках рис. 193. В этом случае новые графики строятся самостоятельно методом расчета.

Поправочный коэффициент K, используемый в формулах (204) и (205), вычисляется из выражения

$$K = 7{,}4 \cdot 10^3 \frac{M}{d_ф}, \qquad (215)$$

где M — коэффициент, зависящий от соотношения величин $N_0/N_ф$ и $d_c/d_ф$;

$d_ф$ — известная толщина диафрагмы ($мг/см^2$), для которой вычисляется значение коэффициента.

Величина d_c — эффективная толщина счетчика и слоя воздуха между счетчиком и препаратом. Она вычисляется по известному

значению толщины слоя слюды счетчика $d_{сч}$, формула имеет такой вид:

$$d_c = (d_{сч} + 2{,}71) \cdot 1{,}04 \ мг/см^2. \qquad (216)$$

Коэффициент M определяется из графика (рис. 195) по известному соотношению $d_c/d_ф$ для конкретных значений $N_0/N_ф$, принимаемых равными 1,5; 1,8; 2,0; 2,3 и 2,5. При постоянной геометрии измерений эффективная толщина d_c и величина соотношения $N_0/N_ф$

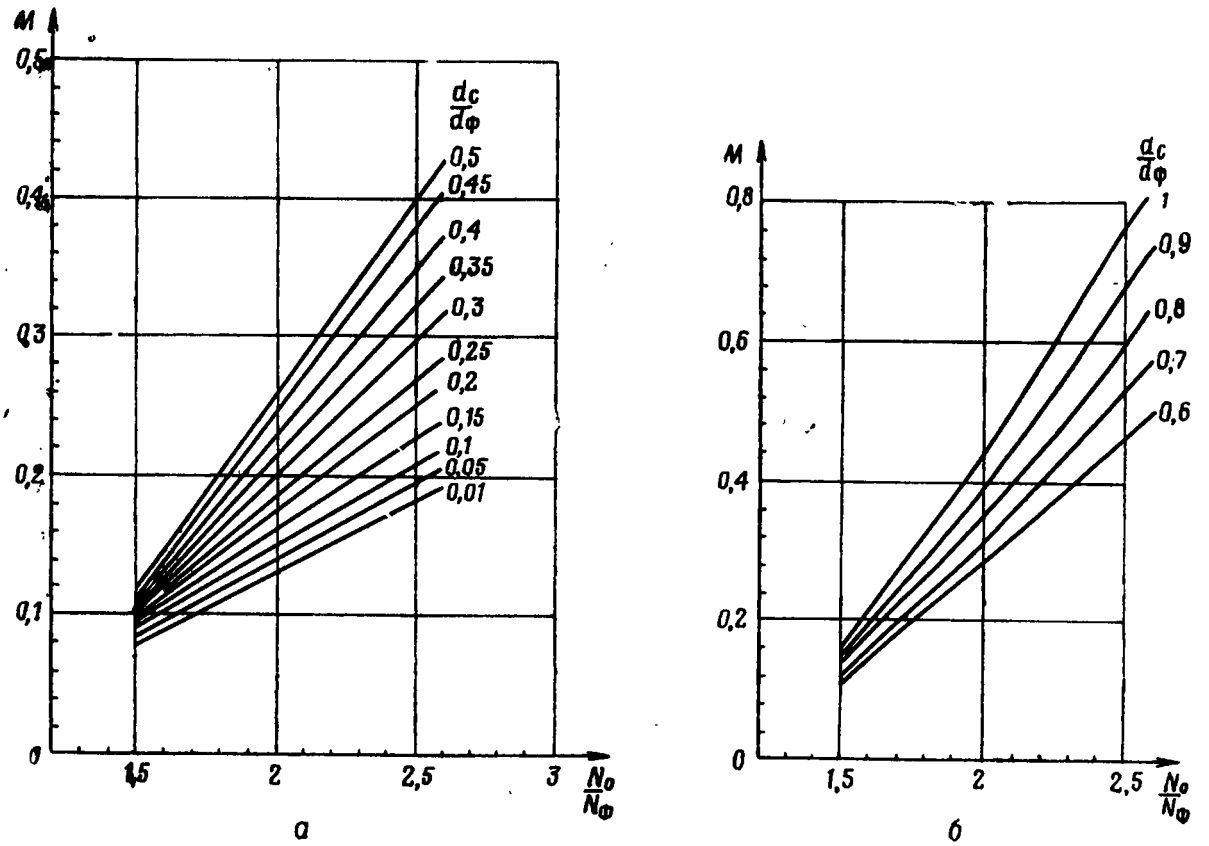


Рис. 195. График зависимости $M = f\left(\frac{N_0}{N_ф}, \frac{d_c}{d_ф}\right)$

неизменны. Это позволяет произвести вычисление коэффициента M для всех ослабляющих диафрагм, на которые отсутствуют графики зависимости $K = f(\frac{N_0}{N_ф};\ d_{сч};\ d_ф)$.

Вычисленное таким образом значение коэффициента M подставляется в формулу (215), определяется коэффициент K и строится зависимость $K = f(\frac{N_0}{N_ф};\ \frac{d_c}{d_ф})$, показанная на рис. 196.

В отличие от графических зависимостей $K = f(\frac{N_0}{N_ф};\ d_{сч}; d_ф)$, по которым коэффициент K определяется по известным толщинам слюды окна счетчика $d_{сч}$, плотности ослабляющего фильтра $d_ф$ и соотношению $N_0/N_ф$, при использовании графиков рис. 196 коэффи-

циент K находится для двух соотношений: $d_c/d_ф$ и $N_0/N_ф$. Следовательно, прежде чем приступить к работе с графиком, необходимо вычислить эффективную толщину, найти соотношения $d_c/d_ф$ и $N_0/N_ф$, а затем эти величины перенести на график рис. 196 и определить значение K.

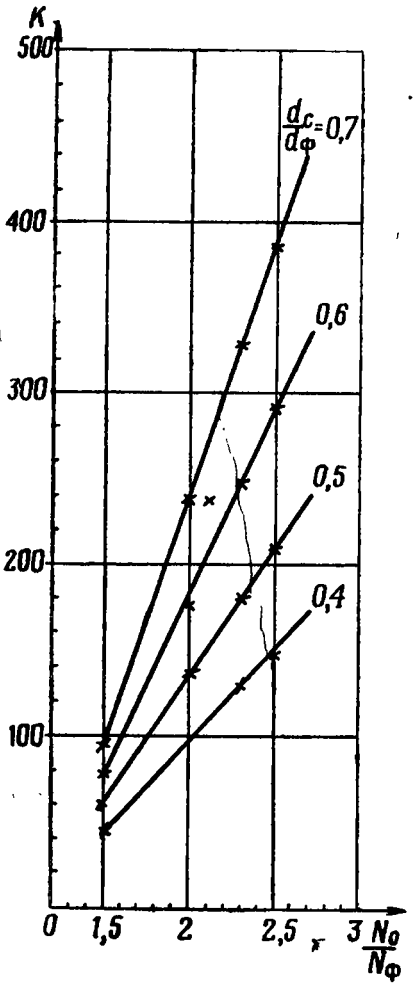


Рис. 196. График зависимости $K=f\left(\frac{N_0}{N_ф}, \frac{d_c}{d_ф}\right)$

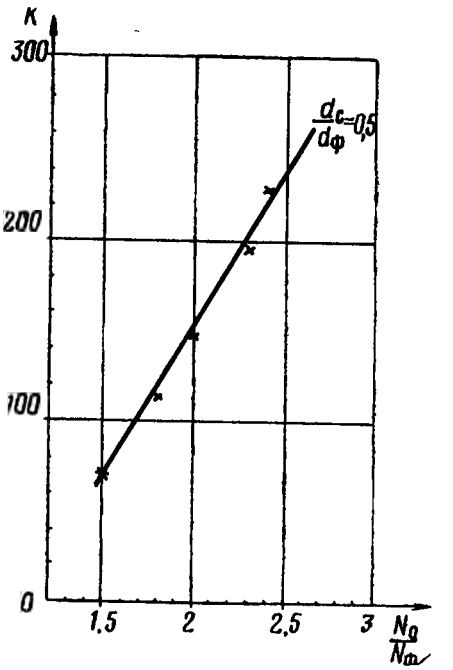


Рис. 197. График зависимости $K=f\left(\frac{N_0}{N_ф}, \frac{d_c}{d_ф}\right)$

Пример. Пусть $d_ф=13$ *мг/см²* и $d_{сч}=4$ *мг/см²*. Из выражения (216) находим d_c:

$$d_c = (d_{сч} + 2{,}71)\cdot 1{,}04 = (4 + 2{,}71)\cdot 1{,}04 \cong 7 \text{ мг/см}^2.$$

Тогда

$$\frac{d_c}{d_ф} = \frac{7}{13} \cong 0{,}5.$$

Задаваясь значениями $N_0/N_ф$, по графику рис. 195 находим величину M, а затем по формуле (215) определяем K.

Данные сведем в таблицу:

N_0/N_Φ	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5
M	0,12	0,2	0,26	0,34	0,4
K	68	114	148	194	228

По данным этой таблицы строится график (рис. 197) зависимости $K=f\left(\frac{N_0}{N_\Phi};\ \frac{d_c}{d_\Phi}\right)$ для соотношения $d_c/d_\Phi=0{,}5$.

Глава VI

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗРАСТА РАДИОАКТИВНЫХ ПРОДУКТОВ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

Определение возраста осколков деления необходимо для оценки поражающего действия продуктов ядерного взрыва на организм человека. Существует два способа измерения возраста продуктов деления ядерного взрыва на счетных установках.

§ 1. Определение возраста по спаду активности

Согласно закону радиоактивного распада осколков их суммарная активность уменьшается со временем в результате только ядерных превращений (без учета выветривания и вымывания). Скорость радиоактивного распада вещества выражается соотношением:

$$\frac{a_2}{a_1}=\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^n, \tag{217}$$

где a_1 и a_2 — величины активностей, соответствующие моментам времени t_1 и t_2;

n — показатель степени.

При ядерном взрыве $n=1{,}2$; при термоядерном взрыве в течение первых трех недель после взрыва $n=1{,}3$, до трех месяцев после взрыва $n=1{,}5$.

Для продуктов ядерного взрыва в выражение (217) подставим $t_1=t_2-\Delta t$. Тогда

$$\frac{a_2}{a_1}=\left(\frac{t_2-\Delta t}{t_2}\right)^{1,2}. \tag{218}$$

Прологарифмируем это выражение:

$$\lg\frac{a_2}{a_1}=1{,}2\lg\frac{t_2-\Delta t}{t_2},\ \text{или}\ 0{,}83\lg\frac{a_2}{a_1}=\lg\frac{t_2-\Delta t}{t_2}.$$

Решив уравнение, имеем

$$t_2=\frac{a_1^{0,83}}{a_1^{0,83}-a_2^{0,83}}\cdot\Delta t. \qquad (219)$$

Время t_2 определяет возраст осколков деления.

Недостатком этой методики является значительный промежуток времени Δt, необходимый для получения ощутимой разницы в величинах a_1 и a_2 (до нескольких суток). Кроме того, показатель 1,2 неуниверсален. Поэтому возможны ошибки в определении возраста продуктов деления ядерного взрыва.

§ 2. Определение возраста продуктов деления по поглощению бета-излучения алюминиевым фильтром

Поглощение бета-излучения алюминиевым фильтром определяется энергетическим спектром бета-частиц. Для различного времени, прошедшего после ядерного взрыва, спектр бета-излучения неодинаков. Этим можно воспользоваться при определении возраста продуктов деления, для чего достаточно измерить две скорости счета: N_0 — непосредственно от препарата и N_Φ — от препарата, прикрытого фильтром. Соотношение N_0/N_Φ пропорциональное соотношению количества бета-частиц, излученных препаратом, к числу частиц, прошедших через алюминиевый фильтр.

Ослабление бета-излучения фильтром характеризуется экспоненциальном законом:

$$\frac{1}{K}=\frac{N_\Phi}{N_0}=e^{-\mu_m d_\Phi}, \qquad (220)$$

где μ_m — массовый коэффициент поглощения;

d_Φ — толщина алюминиевого фильтра.

Зная массовый коэффициент поглощения и спектр бета-частиц различного возраста, можно рассчитать K для определенных условий измерения.

Для определения возраста осколков деления в лаборатории РЛУ-2 в стандартной ванночке готовится специальный препарат толщиной не более 1 *мм*. Если активность препарата не превышает 5—6 значений естественного фона, то проба предварительно сжигается и слой золы толщиной 1 *мм* наносится на дно ванночки. Затем определяются скорости счета (за вычетом фона): N_0 — от препарата и N_Φ — от препарата, прикрытого алюминиемым фильтром, толщина которого 1 *мм* (плотность 260 *мг/см*^{2}). После этого вычисляется коэффициент ослабления K как соотношение N_0/N_Φ. Итак,

$$K=\frac{N_0}{N_\Phi}. \qquad (221)$$

Полученное значение сравнивается с данными табл. 21.

Таблица 21

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА *K* ДЛЯ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ РАЗНЫХ ВОЗРАСТОВ

Величина *K*	Возраст продуктов деления
Менее 5	До 1 года
От 5 до 12	До 100 дней
От 12 до 15	До 30 дней
Более 15	До 14 дней

При получении величины коэффициента *K* в пределах от 12 до 15 необходимо через 5—6 *ч* произвести повторное измерение. Если при этом коэффициент ослабления возрастет по сравнению с первоначальным значением, то продукты деления имеют возраст менее 14 дней, и наоборот.

Глава VII

ДЕЗАКТИВАЦИЯ

Оборудование лаборатории дезактивируется после выполнения рабочего цикла. Промежуточная очистка лаборатории от радиоактивных отходов производится через 2—3 *ч* работы. Перед этим начальник лаборатории обязан уложить в пенал эталонные радиоактивные препараты и закрыть их в сейфе.

Дезактивации подлежат ванночки, ступки и принадлежности, примененные при анализе. Ванночки освобождаются от радиоактивного материала и моются теплой водой с мылом или в 0,3% растворе порошка СФ-2У, протираются 3—5% раствором лимонной кислоты, а затем проверяются радиометром с целью определения полноты дезактивации. При большом фоне ванночки промываются повторно с толченым кирпичом, песком, а при особой необходимости в течение 5—10 *мин* выдерживаются в 50% растворе азотной кислоты.

Принадлежности дезактивируются аналогично. После дезактивации они протираются насухо и укладываются в соответствующие гнезда ящиков.

Все жидкие и твердые отходы, в том числе бумага, используемая на рабочих столах в качестве салфеток, после анализа собираются в специально отведенных местах для захоронения.

По окончании дезактивации оборудования обслуживающий персонал лаборатории производит личную обработку, для чего снимает халаты, руки в перчатках моет теплой водой с мылом; затем перчатки выворачиваются и моются изнутри. После этого руки споласкиваются 3% раствором лимонной кислоты и снимается респиратор. Контроль чистоты личной обработки осуществляется начальником лаборатории прибором ДП-5-А.

Дозы облучения, полученные лаборантами, фиксируются с помощью прямопоказывающих карманных дозиметров ДК-0,2 и заносятся в журнал контроля облучения личного состава лаборатории.

Глава VIII

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАРАЖЕНИЯ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Рассмотренный в предыдущих главах анализ производится силами радиометрической лаборатории, находящейся в армейском тылу. Применение описанных методик требует значительного времени и может сказаться на боевой деятельности войск.

При действии войск на радиоактивно зараженной местности или при ликвидации последствий ядерного взрыва существует необходимость быстрого определения степени зараженности радиоактивными веществами личного состава, боевой техники, продуктов питания, воды и т. д. Поэтому измерения степени зараженности в полевых условиях производятся с помощью радиометров ДП-11-А (Б), ДП-12 или комбинированных радиометров-рентгенметров ДП-5 и ДП-5-А. Несомненно, точность определения степени зараженности по сравнению с измерениями в радиометрических лабораториях будет ниже, но она вполне достаточная для установления необходимости проведения санитарной обработки личного состава, дезактивации техники и режимов потребления продуктов питания и воды.

Существует два метода измерения степени зараженности: по бета- или суммарному бета-гамма-излучению и по гамма-излучению.

§ 1. Измерение зараженности по бета- или суммарному бета-гамма-излучению

Измерение степени зараженности желательно производить на местности, не зараженной радиоактивными веществами, или на участках с небольшим уровнем гамма-радиации (гамма-фоном). Безусловно, при массированном применении ядерного оружия найти

такие участки местности весьма трудно, поэтому измерение степени зараженности часто будет вестись на местности, подвергшейся заражению. Это обстоятельство осложняет проведение измерений, вынуждает заниматься определением гамма-фона, его периодическими промерами и уменьшает диапазон измерений.

Измерению степени зараженности исследуемых объектов должно предшествовать определение уровня гамма-фона. Величина его не должна превышать утроенного значения предельной нормы зараженности обследуемого предмета. Для измерения гамма-фона головка зонда радиометра в положении «Г» располагается на высоте 0,7—1 *м* от земли на предполагаемом участке проведения обследования. По измерительным шкалам определяется уровень гамма-фона в *расп/мин · см²*.

Затем при подходе техники головка зонда устанавливается в положение «$Б_1$» («$Б_2$»), переносится к объекту и размещается на высоте ограничительных упоров (10—15 *мм*) над зараженной поверхностью. Показания прибора считываются с измерительных шкал или вспомогательных таблиц. Из полученного значения вычитается величина гамма-фона. Результат измерения сравнивается с предельной нормой зараженности обследуемого предмета (объекта) и решается вопрос о необходимости дезактивации (санитарной обработки).

Степень зараженности сыпучих продуктов питания (крупы, соли, сахарного песка, муки) определяется поднесением измерительного зонда к массе пробы, находящейся в коробке из-под спичек. В этом случае результат измерений умножается на 9.

Полученное значение сравнивается с табличной предельной нормой для данного продукта, и устанавливается режим потребления.

Серьезным недостатком рассмотренной методики является то, что используемые при измерениях радиометры отградуированы по бета-препарату из стронция — иттрия, т. е. по одному из многочисленных изотопов, образующихся при ядерном взрыве. Это приводит к существенным ошибкам, так как не регистрируется возраст продуктов ядерного взрыва, а следовательно, и их поражающее действие на организм.

§ 2. Гамма-метод измерения зараженности

Более точным является гамма-метод, при котором учитывается изотопный состав ядерного взрыва, т. е. их возраст. В этом случае результат измерений выражается в миллирентгенах в час, что позволяет использовать ряд чувствительных рентгенметров для радиометрических измерений.

При гамма-методе гамма-фон определяется в месте, где должны осуществляться измерения. Для этого головка зонда радиометра

устанавливается в положение «Г» на высоте 0,7—1 *м* и на удалении 15—20 *м* от крупных предметов. Затем на это место прибывает зараженная техника. Дозиметрист устанавливает головку зонда в положение «Г», располагает ее над контролируемой поверхностью на высоте 10—15 *мм* и производит отсчет. Из полученного значения вычитается гамма-фон. Результат сравнивается с предельной нормой зараженности и даются соответствующие рекомендации. Если гамма-фон менее 10% предельной нормы зараженности предмета, им можно пренебречь.

Зараженность боевой техники определяется в местах соприкосновения с ней обслуживающего персонала. Обмундирование и лицевые части противогазов обследуются в развернутом виде. Измерение степени зараженности людей начинается со стороны груди, затем контролируются спина, руки, ступни ног. Тара из-под продовольствия обследуется снаружи, а емкости для хранения воды и приготовления пищи — изнутри.

С помощью радиометров можно обнаружить место нахождения радиоактивной пыли на обследуемой поверхности. Например, для определения зараженной стороны брезентового тента кузова автомобиля нужны два измерения: первое — в положении головки зонда «Г», второе — в положении головки зонда «$Б_1$» («$Б_2$»). Увеличение показаний при втором измерении говорит о наличии радиоактивных веществ на обследуемой поверхности. Если показания при обоих замерах одинаковые, то поверхность не заражена.

Для измерения степени зараженности воды наполняется солдатский котелок (1,5 *л*) или ведро (10 *л*). Измерительный зонд, в положении «Г» располагается по продольной оси котелка (ведра) на высоте 5—10 *мм* от поверхности воды. Для определения зараженности пищи, приготовленной к употреблению, последняя укладывается в котелок или ведро, после чего к зараженной поверхности подносится зонд радиометра. Режим потребления как воды, так и пищи устанавливается после сравнения результатов измерения с соответствующими значениями норм предельной зараженности. Нормы предельной зараженности указаны в табл. 3.

Раздел седьмой

ВОЙСКОВЫЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ АРМИЙ США И ФРГ

Дозиметрическая аппаратура армий США и ФРГ основана на общепринятых методах обнаружения и измерения характеристик ионизирующих излучений: ионизационном, фотографическом, сцинтилляционном. Наиболее широко представлены дозиметрические приборы, имеющие в качестве воспринимающих устройств ионизационные камеры и газоразрядные счетчики.

С помощью дозиметрической аппаратуры выполняется весь комплекс задач по обеспечению радиационной безопасности войск: радиационное наблюдение, радиационная разведка, дозиметрический контроль зараженности предметов вооружения и продуктов питания, контроль облучения личного состава. Как правило, каждая из перечисленных задач решается с помощью определенного прибора. Приборы делятся на рентгенметры, радиометры, дозиметры и комбинированные приборы (рентгенметр-дозиметр, рентгенметр-радиометр и др.). Задачи, связанные с обнаружением радиоактивного заражения, выполняются многоцелевыми приборами, имеющими чувствительный поддиапазон.

Приборы, основанные на ионизационном методе, обладают небольшим весом и габаритами. Как правило, корпуса приборов изготовлены из пластмассы. Электрические схемы приборов в основном полупроводниковые. Источниками питания служат сухие элементы или малогабаритные аккумуляторы.

Глава I

ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ АРМИИ США

§ 1. Рентгенметр IM-174/PD

Рентгенметр IM-174/PD (рис. 198) — основной прибор радиационной разведки. Он предназначен для измерения уровней радиации в диапазоне от 0 до 500 *р/ч*. Для точности измерений рабочий

диапазон разбит на два поддиапазона: первый — от 0 до 10 *р/ч*, второй — от 0 до 500 *р/ч*.

Электрическая схема расположена в металлическом корпусе, имеющем габариты 12,2×12,2×17 *см* Вес прибора 1,7 *кг*. Показания снимаются с помощью микроамперметра с двухрядной шкалой, проградуированной в рентгенах в час. Органы управления прибора размещены сбоку корпуса и на верхней крышке. В качестве воспринимающего устройства используется ионизационная камера. Точность показания рентгенметра может проверяться от радиоактивного препарата, имеющегося в комплекте прибора.

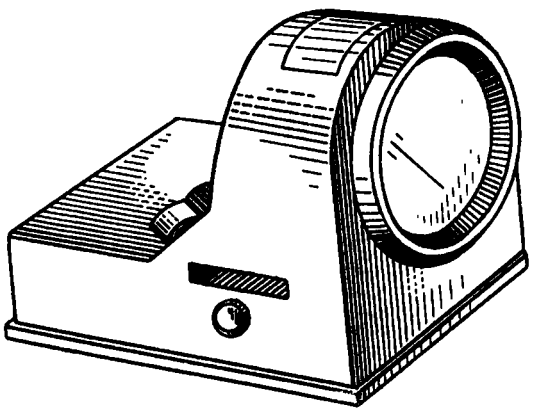


Рис. 198. Рентгенметр IM-174/PD

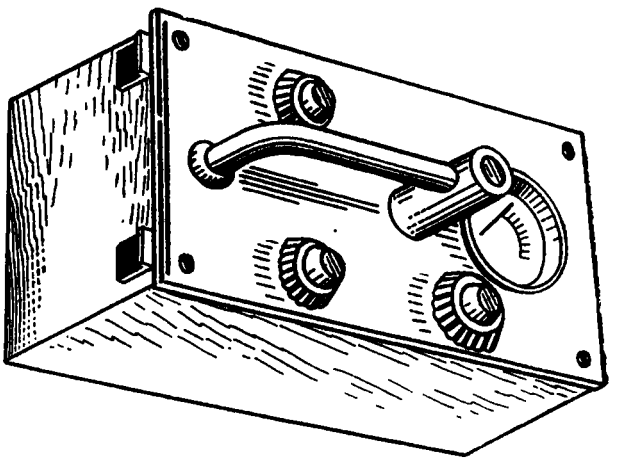


Рис. 199. Рентгенметр AN/PDR-39

§ 2. Рентгенметр AN/PDR-39

Рентгенметр AN/PDR-39 (рис. 199) предназначен для измерения уровней радиации при ведении воздушной и наземной радиационной разведки. Диапазон измерений прибора от 0 до 50 000 *мр/ч*, разбит на пять поддиапазонов: первый — от 0 до 5 *мр/ч*, второй — от 0 до 50 *мр/ч*, третий — от 0 до 500 *мр/ч*, четвертый — от 0 до 5000 *мр/ч*, пятый — от 0 до 50 000 *мр/ч*.

Корпус прибора металлический, прямоугольной формы, значительный по размерам (26,6×15,9×20,3 *см*). Весит рентгенметр 5 *кг*. На рабочей панели расположены микроамперметр, три переключателя и ручка для переноски прибора. При измерении уровня радиации показания, снятые со шкалы электроизмерительного прибора, умножаются на коэффициент, указанный на переключателе поддиапазонов.

§ 3. Рентгенметр-радиометр AN/PDR-27

Рентгенметр-радиометр AN/PDR-27 (рис. 200) — прибор, предназначенный для измерения уровней радиации и степени зараженности при ведении радиационной разведки. Он способен регистрировать суммарное бета- и гамма-излучение. Диапазон измерений прибора от 0 до 500 *мр/ч*, разбит на четыре поддиапазона: первый — от 0 до 0,5 *мр/ч*, второй — от 0 до 5 *мр/ч*, третий — от 0 до 50 *мр/ч*, четвертый — от 0 до 500 *мр/ч*.

Электрическая схема прибора расположена в металлическом корпусе. На передней панели прибора расположены стрелочный индикатор и переключатель рода работы на шесть положений: «OFF» — прибор обесточен, «BATT cont» — включено питание, «0—500 *мр/ч*», «0—50 *мр/ч*», «0—5 *мр/ч*», «0—0,5 *мр/ч*». Кроме того, на панели имеются гнезда для подключения головных телефонов. Корпус прибора влагонепроницаемый.

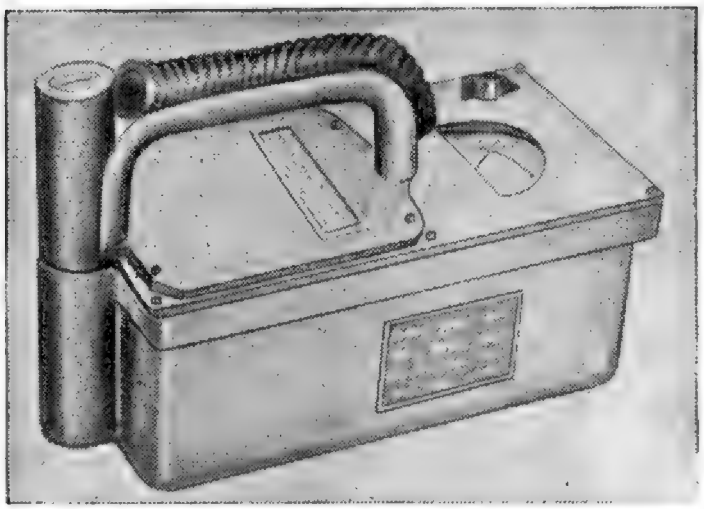


Рис. 200. Рентгенметр-радиометр AN/PDR-27

Воспринимающими устройствами служат два газоразрядных счетчика. Один из них предназначен для регистрации уровней радиации в пределах 0—500 *мр/ч* и расположен внутри корпуса, другой, чувствительный,— для остальных поддиапазонов, он размещен в выносном зонде. Зонд связан с пультом длинным гибким кабелем. В исходном состоянии кабель укладывают в желоб переносной ручки.

Шкала электроизмерительного прибора многорядная. Она имеет подсвет для работы ночью, который включается при наклоне корпуса прибора под углом 45° (для светомаскировки).

§ 4. Прямопоказывающие дозиметры IM-93/PD и IM-9/PD

Прямопоказывающий дозиметр IM-93/PD (рис. 201) является основным тактическим дозиметром. Он предназначен для регистрации доз гамма-излучения в диапазоне от 0 до 600 *р*. Цена деления шкалы равна 20 *р*. Погрешность измерений составляет ±5%.

Прибор представляет собой комбинацию ионизационной камеры и электроскопа. Электродами камеры являются ее корпус и центральный стержень. Подвижным электродом электроскопа служит позолоченная кварцевая нить, которая установлена в фокусе микроскопа прибора и просматривается на фоне шкалы, проградуированной в рентгенах. По форме дозиметр напоминает авторучку; его размеры 11,5×1,5 *см*, вес 57 *г*.

Дозиметр IM-9/PD основан на аналогичном принципе работы. Его диапазон измерений от 0 до 200 *мр*, размеры 9,2 × 1,1 *см*, вес 58 *г*.

§ 5. Зарядное устройство PP-1578/PD

Для заряда прямопоказывающих дозиметров в армии США используются различные типы зарядных устройств. Основным из них является электростатическое зарядное устройство PP-1578/PD (рис. 202). В этом устройстве при ручном вращении ротора за счет работы электростатического фрикционного генератора создается напряжение до 220 *в*. Размеры устройства 6×3,2×6,5 *см*, вес 220 *г*. Устройство может быть использовано для зарядки прямопоказывающих дозиметров всех типов, состоящих на снабжении армии США.

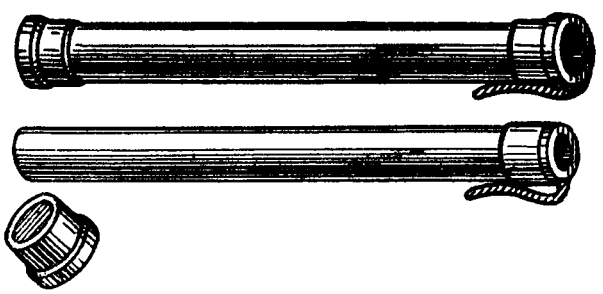


Рис. 201. Индивидуальный прямопоказывающий дозиметр IM-93/PD

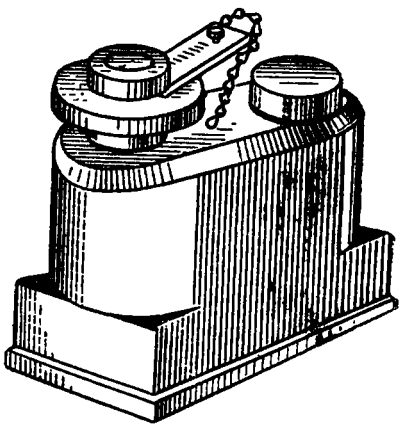


Рис. 202. Зарядное устройство PP-1578/PD

§ 6. Комплект стеклянных дозиметров DT-60/PD

Комплект состоит из дозиметров типа DT-60/PD и счетно-индикаторного устройства CP-95/PD.

Дозиметр (рис. 203, *а*) представляет собой пластинку (диск) из фосфатного стекла, которая помещена в медальон — личный знак, носимый на шее на цепочке. В фосфатном стекле при облучении потоком гамма-квантов происходят перемещения ионов кристаллической решетки и переход их в возбужденное состояние.

Для регистрации дозы излучения дозиметр помещается в приемник счетно-индикаторного устройства CP-95/PD (рис. 203, *б*) и облучается ультрафиолетовыми лучами. В результате возбужденные ионы переходят в основное состояние. При этом избыточная энергия излучается в виде квантов видимого спектра. Излучаемый поток улавливается системой с фотоэлектронным умножителем счетно-индикаторного устройства. На выходе электрической схемы имеется электроизмерительный прибор, шкала которого отградуирована в рентгенах.

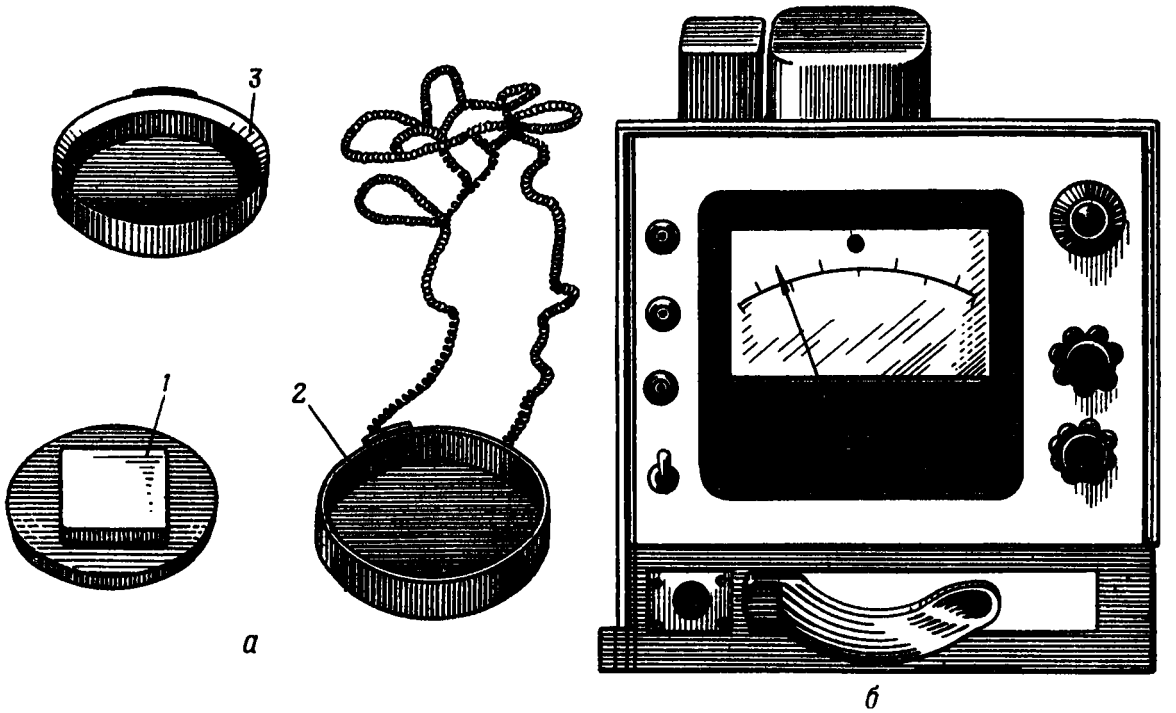


Рис. 203. Стеклянный дозиметр DT-60/PD (*а*) и счетно-индикаторное устройство CP-95/PD (*б*):

1 — пластинка из фосфатного стекла; *2* — основание медальона с цепочкой; *3* — крышка

Глава II

ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ АРМИИ ФРГ

§ 1. Войсковой прибор радиационной разведки Total 6109A

Войсковой прибор радиационной разведки Total 6109A (рис. 204) предназначен для измерения уровней радиации войсковыми подразделениями и формированиями гражданской обороны. Total 6109A — многоцелевой прибор, с помощью его можно одновременно с измерением уровня радиации регистрировать дозу гамма-излучения, обнаруживать бета-зараженность, подавать световой и звуковой сигналы при накоплении дозы 100 *мр*. Звуковые сигналы могут передаваться для усиления на громкоговоритель.

Диапазон измерений прибора от 0 до 500 *р/ч*. Для точности измерений рабочий диапазон разбит на четыре поддиапазона: первый — от 0 до 0,5 *р/ч*, второй — от 0 до 5 *р/ч*, третий — от 0 до 50 *р/ч*, четвертый — от 0 до 500 *р/ч*.

Шкалы электроизмерительного прибора сменные, с подсветом; смена шкал производится при переводе переключателя поддиапазонов из одного положения в другое. Доза излучения регистрирует-

ся нумератором через один рентген. Относительная погрешность измерения ±10%, температурный режим работы от —40° до +50° С.

Прибор питается от элемента (или аккумулятора) напряжением 1,5 *в* и работоспособен в течение 30 *ч*.

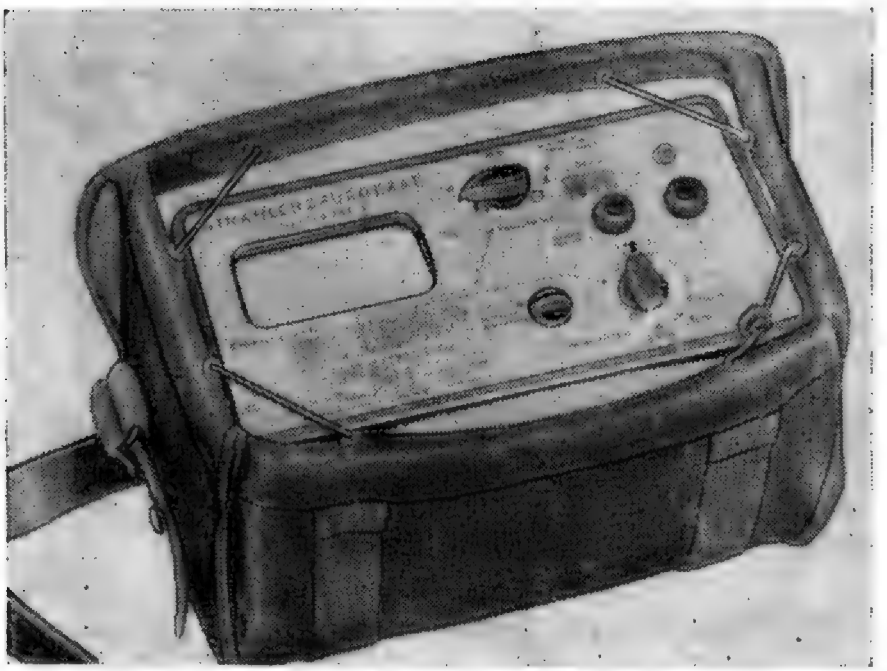


Рис. 204. Войсковой прибор радиационной разведки Total 6109A

Конструктивно прибор оформлен в пластмассовом корпусе. Органы управления расположены на передней панели. Воспринимающими устройствами являются две встроенные ионизационные камеры. В дне корпуса прибора расположено окно, прикрытое стальной заслонкой, для регистрации бета-излучения.

Подготовка прибора к действию слагается из проверки режимов питания и установления переключателя поддиапазонов на одно из рабочих положений. В случае использования прибора как автоматического сигнального дозиметра переключатель устанавливается в положение «Тревога».

§ 2. Рентгенметр-радиометр FH-40T

Рентгенметр-радиометр FH-40T (рис. 205) — комбинированный дозиметрический прибор, предназначен для измерения уровней радиации в диапазоне от 0 до 50 *р/ч* и для обнаружения бета-излучения. Диапазон измерений по бета-излучениям от 0 до $2 \cdot 10^4$ *расп/мин*. Для точности измерения уровней радиации весь диапазон разбит на четыре поддиапазона по гамма-излучению и на два — по бета-излучению. Относительная погрешность измерений ±15%.

Источники питания прибора — четыре элемента или пять малогабаритных аккумуляторов. С помощью выносного кабеля прибор может питаться от аккумуляторной батареи 6 *в*. Время непрерывной работы от элементов 100 *ч*.

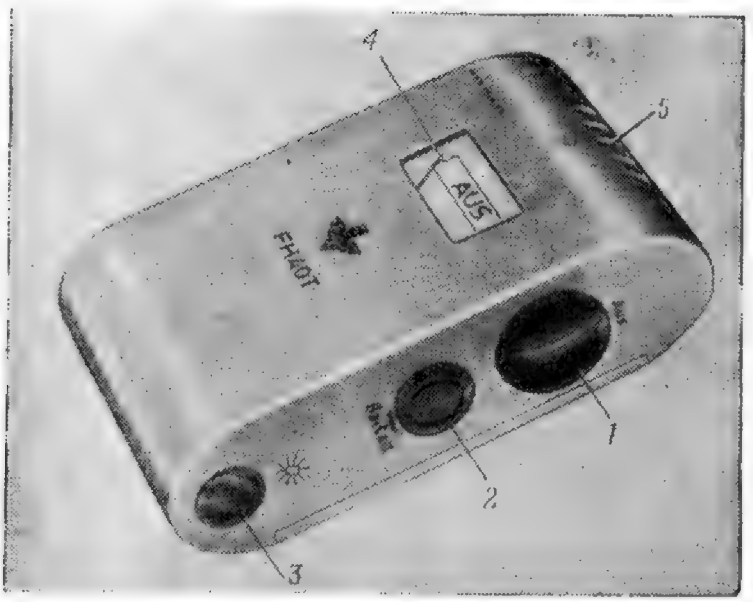


Рис. 205. Рентгенметр-радиометр FH-40T:
1 — переключатель поддиапазонов; *2* — регулятор напряжения; *3* — кнопка включения подсвета шкалы; *4* — измерительный прибор; *5* — прорези для прохождения ионизирующих частиц

Вес прибора 1 *кг*; размеры — 16×10×4,5 *см*.

Органы управления расположены на боковой поверхности корпуса. К ним относятся: переключатель поддиапазонов с круговым вращением (переключатель имеет одно обозначенное положение: «Aus» — прибор выключен), регулятор напряжения и кнопка включения подсвета шкалы. На передней поверхности корпуса находится электроизмерительный прибор с восемью вращающимися шкалами, названия которых соответствует их назначению: «Aus» — прибор выключен; «Spannung arbeits» — рабочее напряжение: «0—0,5 *мр/ч*», «0—25 *мр/ч*», «0—1 *р/ч*», «0—50 *р/ч*», «0—500 *расп/мин*», «0—20 000 *расп/мин*» — поддиапазоны прибора. При переводе переключателя из одного положения в другое автоматически меняются экраны, расположенные между детектором и корпусом прибора и соответствующие измеряемому излучению.

Корпус прибора в лобовой части имеет прорези для прохождения ионизирующих частиц. На обратной стороне боковой поверхности корпуса находятся гнезда для подключения головного телефона.

Воспринимающими устройствами прибора служат сменные газоразрядные счетчики, установленные предварительно в зависимости от характера измерения. Шкалы электроизмерительного прибора имеют подсвет для работы в условиях пониженной видимости.

§ 3. Комплект прямопоказывающих дозиметров типа FH-39

Комплект дозиметров FH-39 (рис. 206) предназначен для контроля облучения личного состава. Он состоит из ряда прямопоказывающих дозиметров и зарядного устройства к ним.

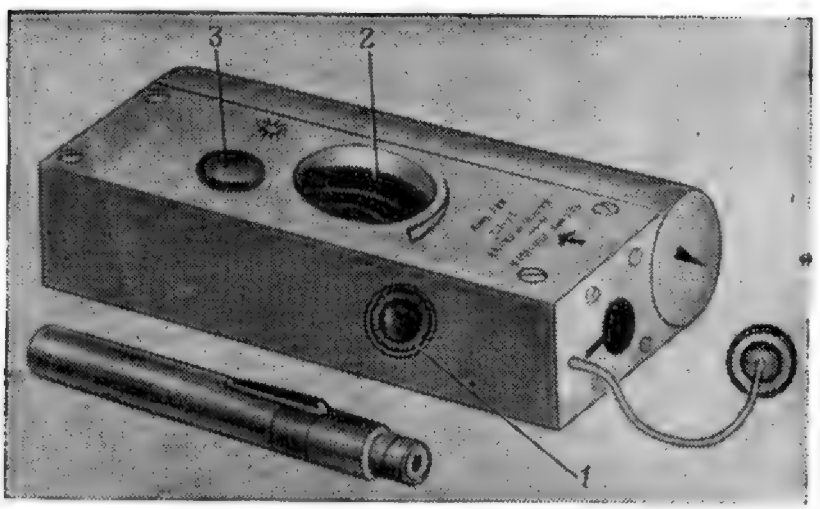


Рис. 206. Карманный дозиметр FH-39 и зарядное устройство к нему:
1 — гнездо «Заряд»; *2* — регулятор напряжения, *3* — выключатель

Конструктивно дозиметры выполнены наподобие авторучек и переносятся в карманах одежды. По принципу действия и устройству они напоминают отечественные прямопоказывающие дозиметры ДКП-50-А.

Промышленность ФРГ выпускает приборы, производящие измерение доз излучения в широких пределах: от 0 до 0,2 *р*, от 0 до 50 *р*, от 0 до 500 *р* и от 0 до 2000 *р*.

Подготовка дозиметров к действию заключается в их заряде на зарядном устройстве, т. е. установлении тени от кварцевой нити на нулевом делении шкалы.

Электрическая схема зарядного устройства представляет собой полупроводниковый преобразователь низкого постоянного напряжения в высокое. Питается преобразователь от малогабаритных аккумуляторов. Высокое напряжение подается на гнездо «Заряд» и регулируется ручкой «Зарядное напряжение», выведенной на переднюю панель прибора. Гнездо «Заряд» имеет внутренний подсвет, включаемый кнопкой «Подсвет».

§ 4. Автоматический сигнальный дозиметр типа Total 6119

Дозиметр типа Total 6119 (рис. 207) используется при организации контроля облучения личного состава, работающего с радиоактивными веществами или действующего на зараженной местности.

Дозиметр Total 6119 — сигнальный. Величина порога срабатывания его определяется модификацией прибора и имеет следующие значения: 20 *мр*; 150 *мр*; 0,5 *р*; 1,5 *р*; 5 *р*. Относительная погрешность ±10%. Прибор работоспособен в интервале температур от —20° до +40° С, малогабаритный, весит 370 *г*, подготавливается к действию за 5 *сек*.

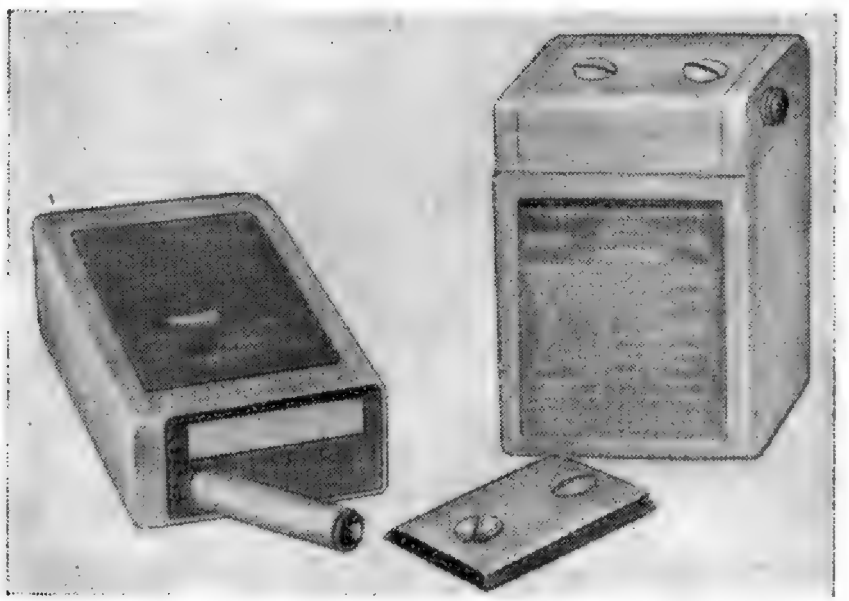


Рис. 207. Сигнальный дозиметр Total 6119

Электрическая схема прибора расположена в пластмассовом корпусе. Здесь имеется преобразователь постоянного напряжения, питаемый от двух элементов. Воспринимающим устройством служит ионизационная камера, соединенная последовательно с электростатическим реле. Контакт реле замыкает цепь питания генератора звуковых частот, включающего в себя громкоговоритель. При воздействии излучений на ионизационную камеру происходит замыкание цепи электростатического реле, которое при конечном заряде (граничной дозе гамма-излучения) включает звуковую сигнализацию.

Прибор имеет один переключатель на три положения: «Выключено», «Заряд», «Измерение». Для подготовки прибора к действию переключатель из положения «Выключено» переводится в положение «Заряд» ионизационной камеры. Положение прибора «Измерение» является рабочим. После срабатывания дозиметра приведение его в действие производится в обратной последовательности.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов Г. Г., Гантман С. А. Химические источники тока для питания средств связи. Воениздат, 1949.
2. Основы дозиметрии и войсковая дозиметрическая аппаратура. Воениздат, 1960.
3. Мартюшев К. И., Зайцев Ю. В. Резисторы. Изд. «Энергия», 1966.
4. Алукер Ш. М. Электроизмерительные приборы. Изд. «Высшая школа», 1966.
5. Гаврилов Р. А., Скворцов А. М. Основы физики полупроводников. Изд. «Машиностроение», 1966.
6. Федотов Я. А. Основы физики полупроводниковых приборов. Изд. «Советское радио», 1963.
7. Санин А. А. Электронные приборы ядерной физики. Изд. «Наука», 1964.
8. Генис А. А., Горнштейн И. Л., Пугач А. Б. Приборы тлеющего разряда. Киев, Изд-во технической литературы УССР, 1963.
9. Актон Д., Свифт Д. Газоразрядные лампы с холодным катодом. Изд. «Энергия», 1965.
10. Шибаев Н. А. Электровакуумные и полупроводниковые приборы. Воениздат, 1967.
11. Мощевитин А. С. Электротехника. Воениздат, 1960.
12. Векслер Г. С., Тетельбаум Я. И. Электропитание радиоустройств. Киев, Изд. «Техника», 1966.
13. Хлебников Н. Н. Электронные приборы. Изд. «Связь», 1966.
14. Касаткин А. С., Перекалин М. А., Сергеев П. С. Электротехника. Гос. энерг. изд-во, 1952.
15. Лейпунский О. И. Гамма-излучение атомного взрыва. Атомиздат, 1959.
16. Ямпольский П. А. Нейтроны атомного взрыва. Госатомиздат, 1961.
17. Дозиметрия ионизирующих излучений. Основные понятия и терминология. Под ред. Иванова В. И. Изд. «Наука», 1965.
18. Гродзенский Д. Э. Радиобиология. Госатомиздат, 1963.
19. Кузнецов В. Ф. Основы дозиметрии и элементы дозиметрических приборов. ВАХЗ, 1961.
20. Кузнецов В. Ф., Бабановский К. И., Поклонов А. П. Войсковые дозиметрические приборы. ВАХЗ, 1963.
21. Шестериков Б. А. Войсковая радиометрия, ВАХЗ, 1966.
22. Михайлов В. А., Науменко И. А. Ядерная физика и ядерное оружие. Воениздат, 1968.
23. Трифонов Д. Н. Радиоактивность вчера, сегодня, завтра. Атомиздат, 1966.
24. Кустова А. В. Основы ядерной физики. ВАХЗ, 1964.
25. Кмет В., Кун А. Техника измерения радиоактивных излучений. Изд. «Наука», 1964.
26. Благовещенский В. П. Основы радиотехники сверхвысоких частот. Гос. изд-во судостр. лит., 1952.

27. Бонч-Бруевич А. М. Применение электронных ламп в экспериментальной физике. ГИТТЛ, 1950.
28. Лепп Р. Э., Эндрюс Г. Л. Физика ядерного излучения. Воениздат, 1956.
29. Базакуца В. А. Международная система единиц. Харьков. Изд-во Харьковского ордена Трудового Красного Знамени Государственного университета имени А. М. Горького, 1966.
30. Противоатомная защита. Перевод с англ. Воениздат, 1958.
31. Руководство по техническому обслуживанию войсковых дозиметрических приборов и приборов химической разведки. Воениздат, 1966.
32. Технические условия на средний и капитальный ремонт дозиметрических приборов. Воениздат, 1967.
33. Информационные сборники в/ч 61469.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение 3

Раздел первый

Ионизирующие излучения

Глава I. Природа ионизирующих излучений 5
Глава II. Свойства ионизирующих излучений 23
Глава III. Количественные характеристики ионизирующих излучений. Основные дозиметрические величины и единицы их измерения . . . 36
Глава IV. Воздействие ионизирующих излучений на живые организмы . . 51
Глава V. Меры защиты от воздействия ионизирующих излучений . . . 55
Глава VI. Методы и техника обнаружения ионизирующих излучений . . 60

Раздел второй

Основные сведения из электротехники и электроники

Глава I. Электрическое поле 69
Глава II. Электрический ток 75
Глава III. Электромагнитные явления 85
Глава IV. Детали электрических цепей 95
Глава V. Цепи с резисторами 100
Глава VI. Цепи с конденсаторами 103
Глава VII. Химические источники тока 108
Глава VIII. Электрические измерения 117
Глава IX. Основы электроники 125

Раздел третий

Элементы схем дозиметрических приборов

Глава I. Воспринимающие устройства ионизационного типа 153
Глава II. Схемы измерения, формирования и счета электрических сигналов. Схемы преобразования напряжения 179

Раздел четвертый

Войсковые дозиметрические приборы

Глава I. Назначение и классификация войсковых дозиметрических приборов 205
Глава II. Индикатор радиоактивности ДП-63-А 206

Стр.

Глава III. Индикатор-сигнализатор ДП-64 212
Глава IV. Рентгенметр ДП-2 217
Глава V. Рентгенметр ДП-3 (ДП-3-Б) 224
Глава VI. Радиометр-рентгенметр ДП-5-А 246
Глава VII. Бета-гамма-радиометр ДП-12 257
Глава VIII. Комплект индивидуальных дозиметров ДП-23-А 263
Глава IX. Комплект дозиметров ДП-22-В 269
Глава X. Комплект дозиметров ДК-0,2 271
Глава XI. Химические дозиметры ДП-70 и ДП-70М 272

Раздел пятый

Эксплуатация войсковых дозиметрических приборов

Глава I. Хранение дозиметрического имущества 275
Глава II. Техническое обслуживание дозиметрических приборов . . . 278
Глава III. Организация ремонта дозиметрических приборов 285
Глава IV. Градуировка войсковых дозиметрических приборов 290
Глава V. Средства ремонта и градуировки войсковых дозиметрических приборов 308

Раздел шестой

Войсковой радиометрический анализ

Глава I. Основы радиометрического анализа 310
Глава II. Взятие проб для анализа 313
Глава III. Приготовление препаратов 314
Глава IV. Счетная установка ДП-100-АД-М 316
Глава V. Измерение активности исследуемых препаратов 322
Глава VI. Определение возраста радиоактивных продуктов ядерного взрыва 338
Глава VII. Дезактивация 340
Глава VIII. Методы измерения радиоактивного заражения в полевых условиях 341

Раздел седьмой

Войсковые дозиметрические приборы армий США и ФРГ

Глава I. Дозиметрические приборы армии США 344
Глава II. Дозиметрические приборы армии ФРГ 348

Редактор полковник *Чугасов А. А.*
Технический редактор *Фролова Л. С.*
Корректор *Яковлева Е. А.*

Г-72303 Сдано в набор 25.4.69 г. Подписано к печати 6.1.70 г.
Формат бумаги 60×90¹/₁₆. 22¼ печ. л. 22,25 усл. печ. л. 22,125 уч.-изд. л.
Изд. № 5/1869дсп Зак. № 3613дсп